

TARTU ÜLIKOOL
Majandusteaduskond

Andres Tamm

**SOOVITUSLIKU TÖÖSTUS 4.0 TEEKAARDI LOOMINE
EESTI MEHHATROONIKA- JA MASINATÖÖSTUSE
ETTEVÕTETELE**

Juhendaja: Professor Urmas Varblane
Kaasjuhendaja: Professor Jüri Riives

Magistritöö ärijuhtimise magistrikraadi taotlemiseks ettevõtluse ja tehnoloogia juhtimise
erialal

Tartu 2017

Soovin suunata kaitsmisele

(Prof. U. Varblane, Prof. J. Riives)

Kaitsmisele lubatud „.....“2017.a

Olen koostanud töö iseseisvalt. Kõik töö kasutamisel kasutatud teiste autorite tööd, põhimõttelised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

.....

(A. Tamm)

SISUKORD

Sissejuhatus	3
1. Tööstuse areng ja tööstus 4.0 mõiste.....	6
1.1 Tööstus 4.0 kujunemise protsess ja tööstuses valitsevad trendid	6
1.2 Tööstus 4.0 toetavate tehniliste süsteemide kirjeldus	14
1.3 Saksamaa ja Rootsi kogemused tööstuse arengusuundade kujundamisel	20
2. Eesti mehhatroonika ja masinatööstusele teekaardi kujundamine tööstus 4.0 rakendamiseks	25
2.1 Eesti mehhatroonika- ja masinatööstusettevõtete ülevaade	25
2.2 Uurimistöö metoodika kirjeldus	31
2.3 Analüüsitulemused	35
2.4 Soovitused Eesti mehhatroonika- ja masinatööstusele tööstus 4.0 teekaardi loomiseks	47
Kokkuvõte	52
Viidatud allikad	55
Lisad	59
Summary	70

SISSEJUHATUS

Euroopas tööstusriikides otsitakse lahendusi kuidas muuta mehhatroonika- ja masinatööstus konkurentsivõimelisemaks. Mehhatroonika ja masinatööstus on tähelepanu all, sest see on tootmisharu, mis on kõrge lisandväärtusega ning annab tööd väga suurele osale Euroopa tööjõust (Eurostat 2017). Püütakse leida lahendusi, mis kasutavad kõiki tänapäevaseid tehnoloogilisi võimalusi, mis arvestavad rahvastikuprotsesse ja kindlustavad sektori jätkusuutlikkuse. Ka Eestile on mehhatroonika- ja masinatööstus tähtis tootmisharu – valdav enamus selle toodangust eksporditakse (Statistikaamet 2017). Seega on tegemist tootmisharuga, mis toob Eestisse raha.

Samas on selles sektoris raske leida tööjõudu ning juba täna ei jätku kõigi tellimuste täitmiseks piisavalt töötajaid (VV 2017, VE 2017, KV 2017). Töötamine mehhatroonika- ja masinatööstuses ei tundu noortele atraktiivne (SV 2017, VV 2017). Sektoris valitseb inseneride puudus ning antud valdkonna jaoks koolitatute oskused ei vasta tööandjate ootustele – see on viinud olukorrani, kus valdkonnas on puudu oskustööjõudu (Aarna 2016). Lisaks väheneb pikas perspektiivis Eesti tööturul tööga hõivatute arv, suureneb tööd tegevate inimeste defitsiit ning palgad kasvavad kiires tempos (Statistikaamet 2017). Eesti elanikkond on vananemas ja ülalpeetavate osakaal võrreldes tööd tegevate inimeste osakaaluga suureneb aasta aastalt (Eurostat 2017).

Seejuures ei ole eelpool mainitus Euroopa mõistes midagi unikaalset. Enamuses Euroopa riikides on täpselt samad probleemid (Eurostat 2017). Kuid on riike, kes on otsinud ja leidnud tee antud olukorrast väljatulekuks ja näevad antud kriisis uue tõusu võimalust.

Riigiti kannavad tööstuse arendamise programmid erinevaid nimetusi. Nendes programmides on mitmeid sarnaseid elemente, samas on nende põhiteesid kohati erinevad. Kuid mis peamine – neil riikidel on pikaajaline visioon ning konkreetne, riiklikult juhitud kava selle realiseerimiseks. Tööstuste arendusprogrammides nähakse võimalust anda oma riigi tööstusele konkurentsieelis. Lähtudes soovist arendada oma tööstust kiiremas tempos võrreldes konkureerivate riikide tööstustega ja temaatika uudsusest tingituna, on antud

programmide kohta suhteliselt vähe uurimistöid ja teadusartikleid, mistõttu on magistritöös kasutatud ka mitteakadeemilist materjali.

Antud valdkonnas on tehtud uurimistöid, mis on uurinud, kuidas tõsta Eesti tööstuse konkurentsivõimet läbi antud sektoris töötavate inimeste hariduse ja oskuste. Põhjalik uurimistöö on 2016 a. SA Kutsekoda poolt tehtud „Tulevikuvaade tööjõu- ja oskuste vajadusele: Metalli- ja masinatööstuses“ (Aarna 2016). Samas töö autorile teadaolevalt ei ole tehtud antud uurimistööga täpselt sarnase sisu ja eesmärgiga uurimistöid.

Samuti on Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi poolt 2013 aastal koostatud Eesti ettevõtluse arendamise strateegia: „Eesti ettevõtluse kasvustrateegia 2014-2020“. Mille eesmärkideks oli tööhõive ja tootlikkuse kasvatamine (Eesti ettevõtluse kasvustrateegia 2014-2020, 2013). Antud strateegia ajaraamistik on peatselt lõppemas ja selles seatud eesmärgid jäävad autori arvates tõenäoliselt osaliselt täitmata.

Täna vajab Eesti tööstus sh mehhatroonika- ja masinatööstus konkurentsipüsimiseks oma teekaarti. Kannustatuna uute võimaluste esile kerkimisest ja Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse probleemidest on püstitatud ka antud magistritöö eesmärk: tuginedes Euroopa tööstusriikides rakendatavate tööstuse arendamise programmide analüüsile välja pakkuda soovitusel Eesti mehhatroonika- ja masinatööstusele Tööstus 4.0 teekaardi loomiseks.

Magistritöös on seatud järgnevad ülesanded:

- Analüüsida Euroopa tööstusriikides rakendatavaid tööstuse arendamise programme.
- Selgitada välja põhjused, mis on tinginud tööstuse muudatused.
- Teha kindlaks, millised on Tööstus 4.0 toetavad tehnilised süsteemid.
- Analüüsida Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse olukorda Eesti töötleva tööstuse taustal.
- Selgitada välja, milline on Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse ettevõtete Tööstus 4.0 põhimõtete rakendamise hetkeseis, tulevikuplaanid ja probleemid, seda lähtudes nende ettevõtete suurusest ja kapitali päritolumaast.

- Anda Eesti mehhatroonika- ja masinatööstusele soovitusi Tööstus 4.0 teekaardi loomiseks.

Töö koosneb kahest osast. Esimeses osas antakse ülevaade, kuidas on tööstus läbi ajaloo arenenud ning millest on olnud tingitud tööstuses toimunud muutused. Samuti selgitakse miks ollakse täna situatsioonis, mis nõuab tööstuse revolutsioonilist arendamist, mida plaanivad teha selleks arenenud tööstusriigid ning kuidas nad seda teha planeerivad. Vaadeldakse millisele tehnilisele vundamendile toetuvad uued tööstuse arendamise programmid.

Töö empiirilises osas antakse ülevaade Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse olukorrast ja selle trendidest töötleva tööstuse taustal, valitud analüüsimetoodikast ja intervjuueeritavate valimist ning intervjuude tulemustest. Intervjuud valimisse kuulunud ettevõtete töötajatega viidi läbi silmast-silma kohtumistel – see andis võimaluse selgitada küsimuste tausta ja saada suuremas mahus informatsiooni Eesti mehhatroonika- ja masinatööstus ettevõtete hetke olukorra ja tuleviku kohta. Seoses ettevõtete jaoks tundliku informatsiooni käsitlemisega ei ole magistritöös avaldatud ettevõtete ja intervjuueeritavate nimesid.

Tuginedes intervjuudele ja analüüsiledele tuvastatakse Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse arenguvõimalused ning töötatakse välja antud sektori soovituslik Tööstus 4.0 rakendamise teekaart. Teekaart näitab olulisi samme, mis viivad töö autori nägemuses Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse Tööstus 4.0 tasemele. Teekaart esitatakse lihtsustatud graafikuna, millel on kujutatud olulisemad tegevused ajalises perspektiivis.

Antud magistritöö tulemused on sisendiks Eesti töötleva tööstuse, sealhulgas mehhatroonika- ja masinatööstuse riiklike eesmärkide seadmiseks ning ettevõtetele visioonide ja arengukavade loomiseks.

Töös kasutatavad peamised märksõnad on: Tööstus 4.0, horisontaalne integratsioon, vertikaalne integratsioon, tark tehas, koguahela disain.

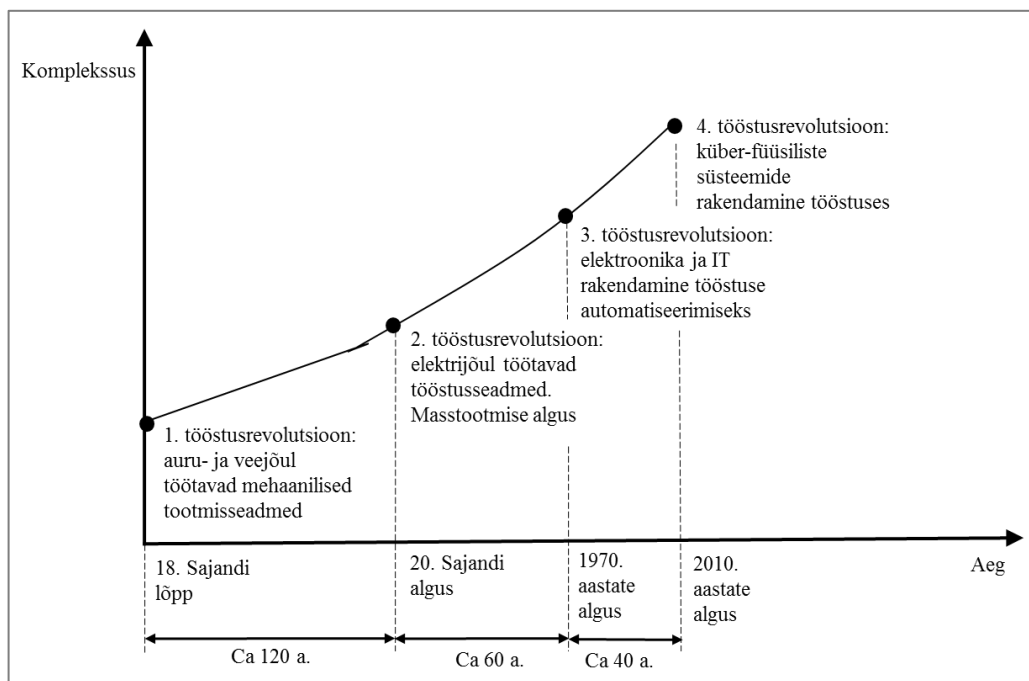
1. TÖÖSTUSE ARENG JA TÖÖSTUS 4.0 MÕISTE

1.1 Tööstus 4.0 kujunemise protsess ja tööstuses valitsevad trendid

Industrialiseerimise ja ühtlasi esimese tööstusrevolutsiooni alguseks loetakse 18. sajandi lõppu, millal tööstuses hakati esmakordselt rakendama mehaanilisi auru- ja veejõul töötavaid tootmisseadmeid. Sel ajal võeti kasutusele seadmed, mis revolutsiooniliselt muutsid asjade seniseid tootmisviise – näiteks mehaaniliste kangastelgede kasutuselevõtt 1784 aastal. (Tunzelmann 1997). Teise tööstusrevolutsiooni algusajaks loetakse 19. sajandi lõppu, 20. sajandi algust, kui tööstusettevõtetesse tulid elektrijõul töötavad seadmed ning algas masstootmise ajajärk. Kolmanda tööstusrevolutsiooni alguseks, aga loetakse aega 1970-ndate algusest, millal hakati tööstuses rakendama elektroonikat ja infotehnoloogiat. Elektroonika ja infotehnoloogia rakendamine tõstis märkimisväärselt tootmisettevõtete automatiseerituse taset ning seadmed võtsid suures mahus üle füüsilise töö, kui ka osaliselt mittefüüsilise tööjõu ametipositsioonid (Kagermann, Wahlster, Helbig 2013: 13, 14).

Töö autori arvates ei ole kolmanda tööstusrevolutsiooni järgne tööstus pikemas perspektiivis jätkusuutlik, kuna selles on liiga palju ressursside raiskamist ning mõju ümbritsevale loodusele ja elukeskkonnale on üldjuhul negatiivne. Ressursside raiskamise kompenseerimiseks ja negatiivsete keskkonnamõjude survele liikusid tootmisüksused kolmandatesse riikidesse. See peatas küll elu- ja looduskeskkonna halvenemise arenenud tööstusriikides, kuid vähendas samas ka sealsete töökohtade arvu ning konkurents maavaradele oli ja on jätkuvalt kõrgel tasemele.

2000. aastate alguses hakati otsima uut, jätkusuutliku tööstuse mudelit. Saksamaa soovis võtta antud teemas juhtrolli ning teavitas 2011. aastal liidukantsleri Angela Merkeli vahendusel, et tõstab oma tootmise uuele tasemele, nimetades seda neljanda tööstusrevolutsiooni alguseks ja andes sellele nime *Industrie 4.0* (*Industry 4.0*, Tööstus 4.0). Järgnev joonis 1 kujutab graafiliselt tööstuse arengut.

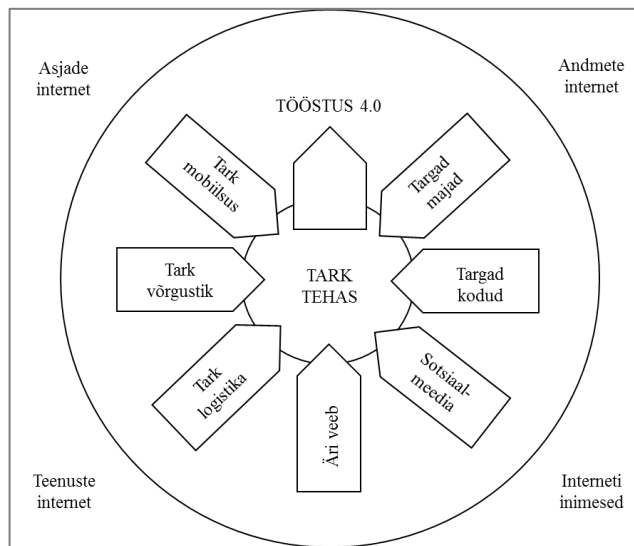


Joonis 1. Tööstuse areng.

Allikas: (Schlick, Stephan, Zühkle 2012: 31); autori kohandused (tõlge ja tööstusrevolutsioonide vaheliste perioodide lisamine).

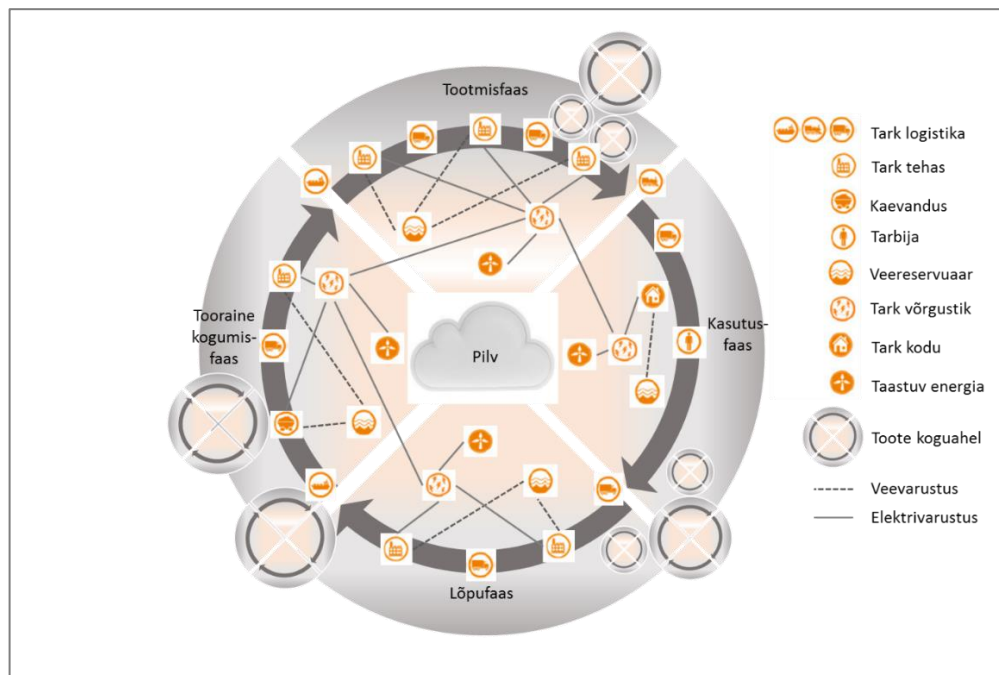
Jooniselt 1 on näha, et mida aeg edasi, seda rohkem on tõusnud tööstuste kompleksus ja seda kiiremini sünnivad uued tööstusrevolutsioonid.

Tööstus 4.0 rajaneb küber-füüsilistel süsteemidel (CPS - *Cyber-Physical Systems*) ja asjade internetil (IoT - *Internet of Things*). Nimelt seotakse Tööstus 4.0-s füüsilised objektid nagu targad masinad, konveierid, tootmistaristu, tooted jne. virtuaalmaailmaga - tootmise juhtimise süsteemide (MES - *Manufacturing Execution System*) ning ressursside planeerimise tarkvaraga (ERP - *Enterprise Resource Planning*). Füüsilise ja virtuaalmaailma sidumisel moodustub terviklik tootmisüksus ehk tark tehase (*Smart Factory*). (Wanga, Wana, Zhangb D, Lia, Zhangb C 2016: 159). Targa tehase juhtimissüsteem suhtleb läbi asjade interneti targa väliskeskkonnaga: teiste tarkade tehastega, tarkade energiaallikatega, tarkade majadega, tarkade kodudega, tarkade logistikavõrkude, sotsiaalmeediaga, nutiseadmetega - moodustades tervikliku koosluse ehk Tööstus 4.0 (Schlaepfer, Koch, 2014). Järgnev joonis 2, kujutab targa tööstuse ja Tööstus 4.0 sidusust graafiliselt.



Joonis 2. Targa tehase ja Tööstus 4.0 sidusus.
Allikas (Schlaepfer, Koch 2014); autori tõlge ja kujundus.

Tööstus 4.0 saab vaadelda makro- ja mikrotasandil. Tööstus 4.0 makro tasandi vaade on toodud alljärgneval joonisel 3.

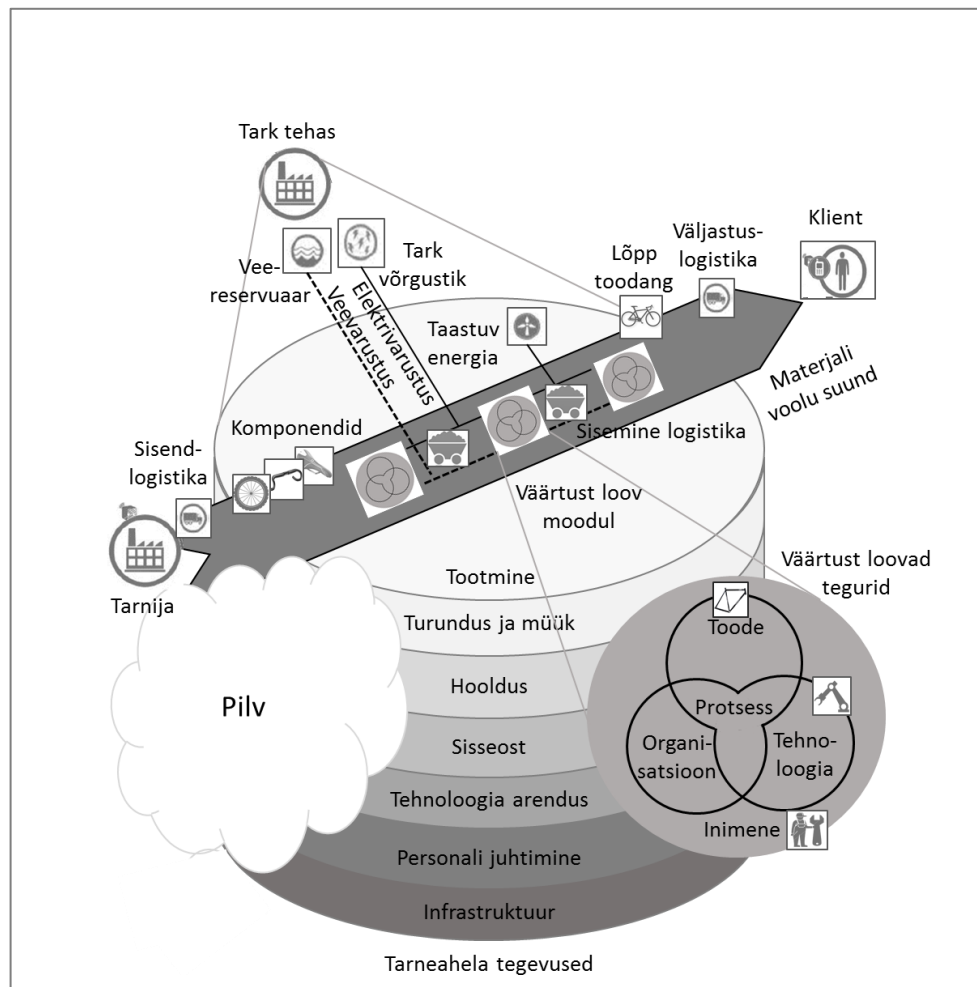


Joonis 3. Tööstus 4.0 makrovaade.
Allikas: (Stock, Seliger 2016: 537); autori tõlge ja kujundus.

Jooniselt on näha, kuidas läbi toote kogu elutsükli projekteerimise luuakse horisontaalne integratsioon. Horisontaalse integratsiooni võrgustikud pakuvad globaalset väärtust (Schlaepfer, Koch 2014). Globaalne väärtus tekib läbi horisontaalse integratsiooni, milles seotakse omavahel koostööpartnerid, kliendid, seadmed kui ka tooted ja seda nii lokaalsel kui ka globaalsel tasandil, luues seeläbi uued koostöö ja ärimudelid (Stock, Seliger 2016: 538).

Lisaks tehnoloogilisele mõõtmele omab Tööstus 4.0 ka keskkonnaalast mõõdet, kuna toodetele ja teenustele luuakse tervikahela disain. Toodete ja teenuste tervikahela disain on toote planeerimine läbi kogu tema elutsükli. See tähendab, et toote disaini ei vaadelda vaid oma tootmise kontekstis vaid lähtudes tervest tema elutsüklist - alustades toorme kaevandamisest kuni lõpptootte utiliseerimiseni. Antud lähenemisviis annab võimaluse luua sünergia disaini, tootmise ja looduskeskkonna vahel. (Stock, Seliger 2016: 537).

Seega Tööstus 4.0 järgi algab toote koguelutsükli mudel toorme kogumise (kaevandamise) faasist. Sellele järgneb töötlemisfaas, milles toimub nii toote disain, toote tootmiseks vajaliku tootmisprotsesside arendus, kui ka toote valmistamine. Peale töötlemisfaasi tulevad toote kasutus- ja lõpufaas. Lõpufaas võib tähenda üht või mitut järgnevatest tegevustest: taaskasutus, ümbertöötlemine, parandamine ja realiseerimine. Erinevad toote elutsükelifaasid on omavahel ühendatud targa logistikaga, energia- ja suhtlussüsteemidega. (Stock, Seliger 2016: 537). Töö autori arvates peidab toote koguaheladisain endas väga suurt potentsiaali, mis võimaldab suhteliselt väikeste vahenditega tõsta oma toodete konkurentsivõimet, seda läbi väiksemate materjali- ja transpordikulude. Tööstus 4.0 mikrovaade on kujutatud järgneval joonisel 4.



Joonis 4. Tööstus 4.0 mikrovaade

Allikas: (Stock, Seliger 2016: 538); autori tõlge ja kujundus.

Mikrotasandil on Tööstus 4.0 seotud nii horisontaalse, kui ka targa tehase sisese vertikaalse integratsiooniga ning on üks osa koguelutsükli mudelist. Tark tehase, kui väärtust loov terviklik üksus koosneb omakorda mitmest eri tasandil olevast väärtust loovast moodulist. Erinevad moodulid on näiteks turunduse-, müügi-, hoolduse-, sisseostu-, tehnoloogia arenduse-, personalijuhtimise ja infrastruktuurimoodul. Ettevõttesest, targa tehase eritasandite moodulite ühendamist andmevahetus- ja juhtimisprogrammidega nimetatakse vertikaalseks integratsiooniks. Horisontaalse ja vertikaalse integratsiooni tõhustamine annab võimaluse protsesse paremini optimeerida ja juurutada tulemuslikult tööstusrobotite abil rekonfigureeritavat tootmist. Vertikaalne integratsioon aitab vähendada mikrojuhtimist ja kiirendada otsustus-, tegevus- ning juhtimisprotsesse. (Koch ja Geissbauer 2014).

Vertikaalne integratsioon tagab ettevõttesisese informatsioonivoo sujuvuse ja stabiilsuse. Vertikaalse integratsiooniga välditakse informatsiooni blokeerimist osasüsteemide vahel ning tagatakse materjalivoogude paindlikus. (Wang, Wan, Li, Zhang 2016: 3). Töö autor jagab põhinedes oma kogemustele Wangi, Wani, Li ja Zhang (2016) seisukohti, leides, et vertikaalse integratsiooniga tagatakse kiire informatsiooni jagamine eritasanditele, tagatakse protsesside sujuvus ka mahtude äkiliste tõusude ajal ning see väheneb sõltuvust ettevõtte töötajate teadmusest.

Tööstus 4.0 kaasnevad mitmed muudatused tehnoloogias, digitaliseerimises, toodetes, protsessides, töökohtades ja organisatsioonides, mis toovad tööstusesse kardinaalsed muudatused. Alljärgnevalt käsitletakse muutuste ulatust ja mõju.

Tehnoloogia muutub veel rohkem automatiseeritumaks, võimelisemaks toota ühe toote väga mitmeid variatsioone. Seadmed on ise võimelised ennast seadistama ühelt toote variatsioonilt teisel ning seda ilma kõrvalise abita. Targad seadmed kasutavad suurandmete (*Big Data*) analüütikat ja võimsat tarkvara, mistõttu on nad väga kasutajasõbralikud ning nende hooldus ja diagnostika on tunduvalt lihtsam võrreldes tänapäevaste masinatega (Wang, Wan, Li, Zhang 2016: 7). Targad seadmed töötavad vaid siis, kui seda on tõesti vaja ning seda kõige optimaalsemal viisil. Tooted on tootmiskavades järjestatud viisil, mis tagab minimaalse ressursi kasutuse üleminekul ühelt toote tootmiselt teisele. (Wang, Wan, Zhang D, Lia, Zhang C 2016: 159). Digitaalselt andmete hoidmine pilvepangas võimaldab ettevõtetel säästa kuni 70% oma energiakulutustest (Gupta, Seetharaman, 2013). Tehnoloogia suudab ise diagnoosida oma tehnilist seisukorda ning lähtuvalt vajadusest ennast ise parandada või kutsuda selleks endale abi. Tootmiseseadmed hakkavad järjest enam suhtlema teineteisega ning robotid hakkavad koostöös inimestega täitma nendega ühiseid tööülesandeid (Schlaepfer, Koch 2014). Kasvab taastuvenergia kasutamise osakaal ning tõuseb märgatavalt tootmisüksuste osakaal, mis ei ole vaid energia tarbijad vaid on samuti energia tootjad (Stock, Seliger 2016).

Digitaliseerimine põhjustab murrangulisi muudatusi, muutes ettevõtluse rolle kardinaalselt. Digitaliseerimist teostatakse eesmärgiga tõsta ettevõttesisest efektiivsust, mis toob

muudatused nii töö teostamise viisides kui ka sisemistes protsessides. Digitaliseerimine loob uued ettevõtluse võimalused – uued kliendid ja uued teenused (näiteks e-arvete operaatorid). (Parviainen, Tihinen, Kääriäinen, Teppola 2016: 66-67). Digitaliseerimine võimaldab ka väiksema kapitalimahukusega ettevõtetel liikuda rahvusvahelistele turgudele (Manyika, Lund, Bughin, Woetzel, Stamenov, Dhingra 2016).

Seoses tootmiseseadmete võimekuse tõusuga, lisanduvate funktsioonide, automaatse ümberseadistuse, vähenevate administreerimiskulude ning optimeeritumate protsesside muutuvad ka kliendispetsiifilised väikepartiide tootmised konkurentsivõimelisteks (Factories of the Future 2013: 61). Töö autor leiab, et seega tõuseb personaliseeritud kliendikesksete toodete osakaal. Kliendikesksetel toodetel on vaid need omadused, mida klient soovib. Tooted on toodetud vajaduspõhiselt ja toote elutsükel on läbimõeldud. Mis omakorda tähendab, et tooted on valmistatud kergemini ümbertöödeldavatest materjalidest ja nad on keskkonnasõbralikumad.

Tootmise ja protsesside andmed liiguvad suurema detailsustasemega ja mahulisusega pilvepankadesse, mistõttu suudavad arvutisüsteemid teha parema tasemega otsuseid (Wanga, Wana, Zhangb D, Lia, Zhangb C 2016: 159). Töö autori arvates tehakse suurem osa otsuseid Tööstus 4.0 rakendumisel mitte inimeste vaid arvutisüsteemide poolt. Samuti toimub protsesside pidev parendamine ja optimeerimine kasutades selleks oma tootmisest saadavaid andmeid, kui ka välisvõrgust kogutavat informatsiooni.

Suur osakaal tänasest töökohtadest automatiseeritakse ning seega töökohtade arv väheneb. Töökohad, mis jäävad vajavad heade teadmistega töötajaid, kes lahendavad lühiajalisi ja raskelt planeeritavaid ülesandeid (Stock, Seliger 2016: 539). Rohkem inimesi jälgib automatiseeritud seadmete tööd ning on integreeritud lahendama ülesandeid, mis ei ole veel tsentraliseeritud. Samuti osalevad inimesed koguahela planeerimise ja projekteerimise töös. Töö muutub füüsiliselt kergemaks ning töögraafikud ja -kohad paindlikumaks. (Kagermann, Wahlster, Helbig 2013: 5). Samas tõuseb töötajate tähtsus kes oskavad kriitiliselt mõelda, näha tervikpilti ja suuta olukordi analüüsida (Davies, Fidler, Gorbis 2011). Kui globaalselt töökohtade arv väheneb, siis arenenud piirkondades tekib juurde uusi teise profiiliga

töökohtasid. Need töökohad on seotud uute tarkade lahenduste loomisega ja tarkade lahenduste teenindamisega. Autori arvates muudavad uued targad tooted muutunud ärimaastikul seniseid majandusmudeleid, luues töökohti piirkondades, kus see varem ei olnud majanduslikult otstarbekas või keskkonnaalaselt lubatud.

Organisatsioonides tõuseb IT alaste teadmistega töötajate arv ja tähtsus. Organisatsiooni võimekust rakendada edukalt uudset tehnoloogiat nimetatakse ka ettevõtte digitaalseks IQ-ks. Mida kõrgem on ettevõtete digitaalne IQ, seda kiiremini suudavad nad uut tehnoloogiat efektiivselt kasutusele võtta. See muudab antud ettevõtted konkurentsivõimelisemaks samas sektoris tegutsevate teiste ettevõtetega võrreldes. (Curran, Garrett, Puthiyamadam 2017).

Võrreldes eelmise generatsiooni tootmistega iseloomustab Tööstus 4.0 vertikaalse ja horisontaalse integratsiooni, toodete ja teenuste tervikahela disaini ning tehnoloogia märkimisväärne edasiarendamine. Kokkuvõtlikult eelpool kirjeldatut, saab välja tuua Tööstus 4.0 täiemahulisel rakendamisel kaasnevad eelised võrreldes eelmise generatsiooni tööstusega:

- kliendispetsiifiliste toodete ja väikepartiide ($n \geq 1$) konkurentsivõimelisus,
- tootmise paindlikkuse kasv,
- otsustusprotsesside lühenemine,
- toorme kulu vähenemine,
- efektiivsuse tõus,
- uute ärimudelite tekkimine,
- töö ja eraelu parem sobivus,
- jätkusuutlikus.

Lisaks paljule positiivsele toob Tööstus 4.0 rakendamine töö autori arvates endaga kaasa ka mõned ohukohad, milledele täna ei ole veel väljakujundatud ühtset lahendust. Näiteks töökohtade vähenemine piirkondades, kus tehnoloogiline areng on tasemel, mis ei võimalda Tööstus 4.0 rakendamist või võimaldab seda liiga aeglasel tempos. Antud piirkondades toodetud toodete konkurentsieelis hakkab aja jooksul vähenema ning madala tehnoloogilise

tasemega riigid võivad muutuda vaid toorme tarnijateks ning toodete ja teenuste tarbijateks. Töö autori arvates on alanud võidujooks, mille tulemusena suureneb tõenäoliselt majanduslik ebavõrdsus tööstuslikult ja digitaalselt arenenud riikide ja vähemarenenumate vahel.

Teise ohuna näeb töö autor suurenevat sõltuvust arvutisüsteemidest. Arvutisüsteemidega tugevalt seotud ettevõtted võivad muutuda küberrünnakute sihtmärkideks. Riiklikult või laiaulatuslikult organiseeritud küberrünnakud saavad peatada või halvata rünnaku sihtmärgiks langenud riigi tootmissektori toimimise. Suurema mastaapsusega arvutisüsteemide kokkuvarisemisel võivad inimkonnal puududa seadmed ja oskused alternatiivselt toota elus püsimiseks vajalikke tooteid.

Samas on Tööstus 4.0 rakendamisega kaasnevad võimalikud ohud lahendatavad ning ei kaalu üles uue tööstusega saadavat globaalset kasu. Tööstus 4.0 rakendamisega soovitakse tõsta tööstuste konkurentsivõimet, kuid ka lahendada (leevendada) energia ja toorme defitsiidi probleeme ning leida lahendus inimkonna jätkusuutlikkusele vananevas ühiskonnas.

1.2 Tööstus 4.0 toetavate tehniliste süsteemide kirjeldus

Tööstus 4.0 ehk intelligentse tootmiskeskonna keskmes on CPS (CPS - *Cyber-Physical Systems*) ja asjade internetil (IoT - *Internet of Things*), mis on antud peatükis peateemadeks.

CPS on süsteemid, mis juhivad läbi infotööstlustehnoloogia füüsilisi seadmeid (Lee, Bagheri, Kao 2015: 18). Riivese (2016) sõnastuses on CPS füüsiline kooslus (mehhanism), mida juhitakse ja monitooritakse tarkvara algoritmide alusel ning mis on ühenduses interneti ja selle kasutajatega. CPS on näiteks:

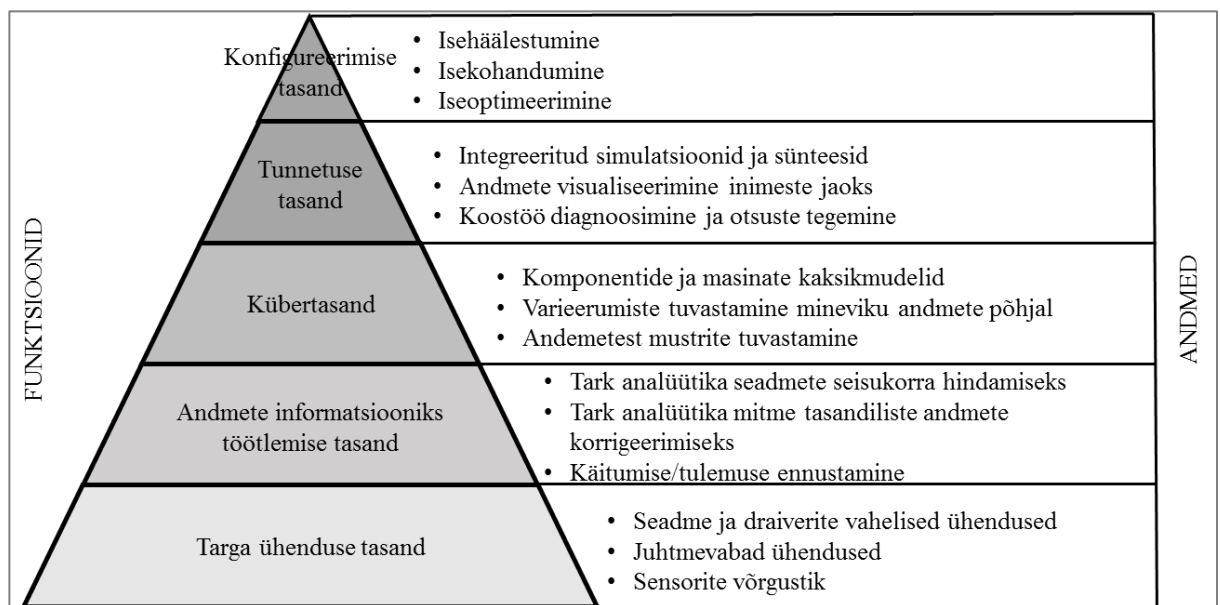
- robotiseeritud süsteemid,
- protsessi adaptiivjuhtimise lahendused,
- autonoomsed liikursüsteemid.

CPS on uus evolutsioon, mis disainib ümber tootmis- ja transpordisüsteemid ning liidab need globaalsesse tootmise võrgustikku (Frazzona, Hartmannb, Makuschewitzb, Scholz-Reiterc 2013: 53). Lee, Bagheri ja Kao (2015: 18) leiavad, et tootmisüksustes võiks olla viie

tasandiga CPS struktuur ehk 5C arhitektuur. Üldjuhul koosnevad CPS-id kahest funktsionaalsest komponendist:

- Avansseeritud ühendusest ehk ühendusest, mis kindlustab reaalajas andmete kogumise füüsilistelt seadmetelt ja tagasiside andmise küberruumist.
- Intelligentsest andmete töötlemise, juhtimise ja analüüsimise komponendist ehk osast mis loob küberruumi.

CPS süsteemi 5C arhitektuur on toodud alljärgneval joonisel 5.



Joonis 5. Küber-füüsikalise süsteemi 5C arhitektuur.

Allikas: (Lee, Bagheri, Kao, 2015: 19); autori tõlge ja kujundus.

5C esimesel tasandil ehk targa ühenduse tasandil kogutakse täpseid ja usaldusväärseid andmeid masinatelt ja nende komponentidelt ning see on esimeseks etapiks arendamiseks CPS-i. Andmed võivad olla kogutud sensoritega, kontrolleritest või ettevõtte tootmissüsteemidest nagu näiteks ERP. On oluline, et andmete kogumiseks oleksid õiget tüüpi sensorid. Samuti peab meeles pidama, et eritüüpi andmete kogumiseks on vajalik kasutada spetsiaalseid protokolle. (Lee, Bagheri, Kao, 2015: 19).

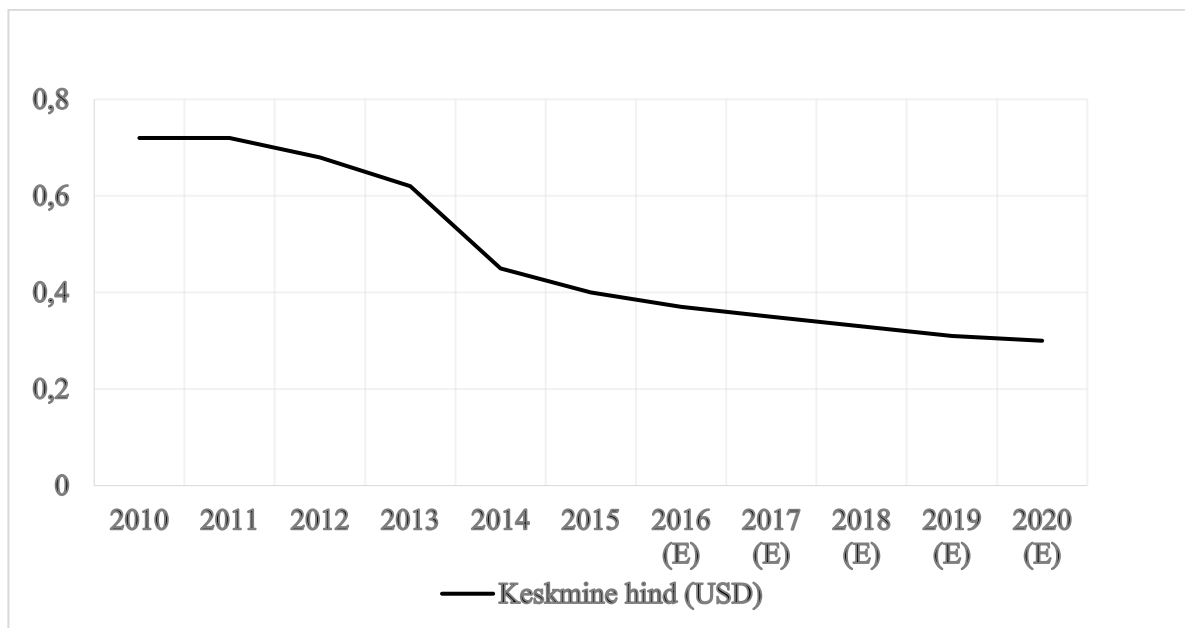
Teisel tasandil toimub andmete töötlus informatsiooniks ehk andmetest genereeritakse sisukas informatsioon. Andmete töötlemiseks luuakse erinevad algoritmid, mis lubavad seadmetel teha iseseisvaid otsuseid. (Lee, Bagheri, Kao, 2015: 19).

Kolmas tasand ehk kübertasand käitub antud CPS-i arhitektuuris justkui tsentraalne informatsiooni keskus. Sellesse tõmmatakse informatsioon igast võrgustikuga ühendatud masinast. Kogutud massiivsest informatsioonist saadakse spetsiaalse analüüsi abil omakorda luua uut ja lisanduvat informatsiooni iga üksiku seadme kohta. Tehtud analüüsid annavad seadmetele võrdlusvõimekuse ehk võimekuse ennast võrrelda teiste seadmete tulemustega. Sarnasused masinate tulemustes ja ajaloolises käitumises annavad võimaluse ennustada seadmete tuleviku käitumist. (Lee, Bagheri, Kao, 2015: 19).

Neljandal tasandil ehk tunnetuse tasandil toimub CPS-i rakendamine. Antud tasandil tekivad põhjalikud teadmised, mis on saadud monitooritud süsteemist. Kogutud andmete õige esitlus aitab teha ekspertidel õigeid otsuseid. Võrdlusinformatsioon, iga seadme teadaolev staatus võimaldab näiteks välja selgitada kõige optimaalsema seadmete hooldusprogrammi. Antud tasandil on oluline andmete töötleja jaoks informatsioon graafiliselt visualiseerida. (Lee, Bagheri, Kao, 2015: 19).

Viies tasand ehk konfigureerimise tasand on tasand, milles antakse tagasiside küberruumist füüsilisse ruumi ning võimaldab seadmeid ise ümber seadistada ning -kohanduda. Antud tasand käitub kui elastsuskontrollsüsteem, et rakendada tunnetuse tasandil tehtud korrigeerivaid ja ennetavaid otsuseid. (Lee, Bagheri, Kao, 2015: 19).

IoT ehk asjade interneti on defineeritud kui paradigmat, mis seob mõttestatud suhtluse eesmärgil omavahel sensoritega varustatud esemed, ajamid ja protsessorid (Sethi, Sarangi 2017). Öeldakse ka lihtsamalt: asjade internet seob reaalse ja virtuaalse maailma. Igapäevaselt laieneb maailmas interneti leviala ja suureneb seadmete arv, mis on ühendatud interneti võrgustikku. Hinnangute järgi oli 2015. aastal 26 miljardit interneti ühendatud seadet ning see arv kasvab - prognooside kohaselt on 2020. aastal selliseid seadmeid juba üle 50 miljardi. (Holdowsky, Mahto, Raynor, Cotteleer 2015). IoT laienemist soodustab ka sensorite hinna langus. Sensorite hinna langus on kujutatud järgneval joonisel 6.

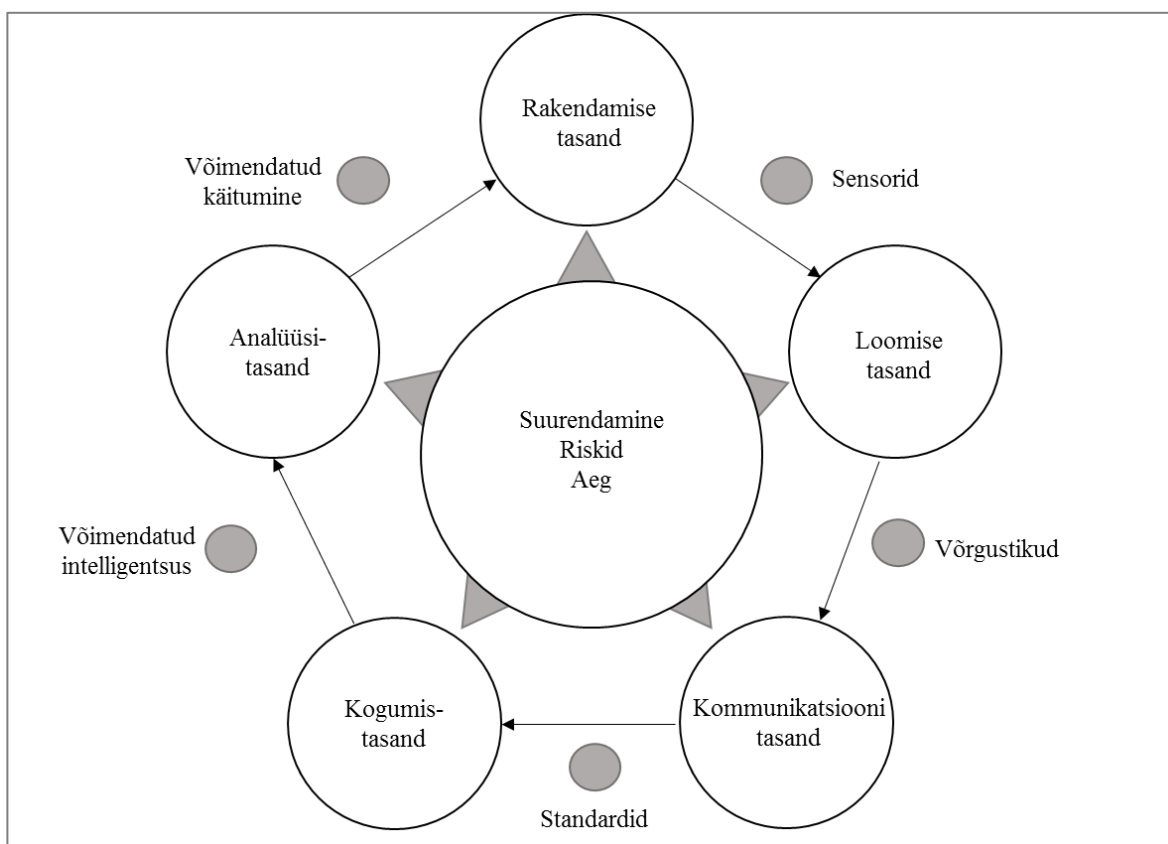


Joonis 6. Obtoelektroonika ja sensorite keskmine tükihind ja hinnaennustus (USD).
Allikas: (Lineback: 2016); autori tõlge.

IoT detailse arhitektuuri suhtes ei valitse maailmas konsensuslikku arvamust – erinevad allikad kirjeldavad IoT arhitektuuri erinevalt. Siiski jagatakse valdavalt arvamust, sealhulgas ka Sethi ja Sarangi (2017: 2,3), et IoT põhistruktuur koosneb kolmest kihist:

- Tajumise kiht (*Perception layer*), mis on füüsiline kiht, millel on sensorid korjamaks ja kogumaks keskkonnast informatsiooni.
- Võrgustiku kiht (*Network layer*), mille ülesandeks on ühendada targad seadmed ja võrgustiku seadmed ning serverid. Antud kihi ülesandeks on samuti edastada ja töödelda sensoritelt saadud andmeid.
- Rakenduse kiht (*Application layer*), mille ülesandeks on juhtida konkreetset, määratud seadet.

Ülevaatlíkuma pildi annab IoT struktuuri kirjeldamine läbi IoT informatsiooni väärtusahela, mis on näidatud järgneval Joonisel 7.



Joonis 7. Asjade interneti väärtusahel

Allikas: (Holdowsky, Mahto, Raynor, Cotteleer 2015); autori tõlge ja kujundus.

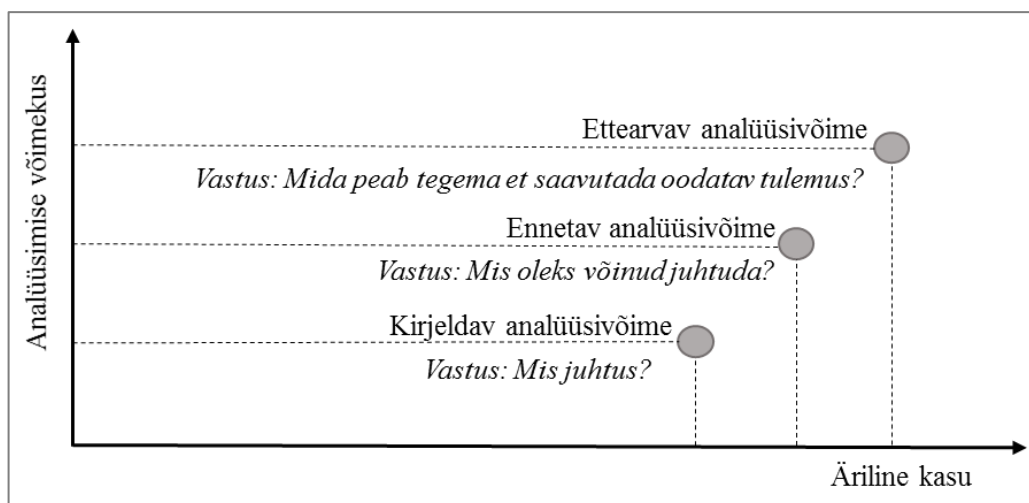
Märkused: Loomise tasand (*Create*): loomise tasandil kogutakse sensorite abil informatsiooni füüsilisest sündmusest või asjade olekust. Kommunikatsiooni tasand (*Communicate*): informatsiooni ülekandmine ühest kohast teise. Kogumistasand (*Aggregate*): erinevatest allikatest eriaegadel ja -kohtades kogutud andmete koondamine. Analüüsitasand (*Analyze*): analüüsi tasandil toimub arukate mustrite ja seoste leidmine, mis viivad sündmuste juhtumise mõistmiseni, ennustamiseni. Rakendamise tasand (*Act*): füüsilise sündmuse algatamine, hooldamine või muutmine. (Holdowsky, Mahto, Raynor, Cotteleer 2015).

IoT rakendamise võimalikuks muutmiseks peab süsteem olema varustatud:

- Sensoritega (*Sensors*) – seadmetega, mis tekitavad füüsilisest olekust või sündmusest elektroonilise signaali. Näiteks liikumis-, valgushulga-, vooluhulga, temperatuuri-, radiatsiooni-, niiskuse-, kemikaali-, biosensorid (Fraden 2010: 7-11).
- Võrgustikega (*Networks*) ehk mehhanismidega, mis on vajalikud elektroonilise signaali edastamiseks. Näiteks 3G, 4G, 5G, Wi-Fi, Bluetooth jt. 5G kasutuselevõtt suurendab andmete edastamise kiirust ja võimaldab edastada suuremaid

andmemahutusi, mis omakorda annab võimaluse IoT uuele tasemele tõusmiseks. (Holdowsky, Mahto, Raynor, Cotteleer 2015).

- Standarditega (*Standards*) ehk üldtunnustatud piirangutega ja reeglitega. Tehnoloogilised standardid on võrgustiku ja suhtluse protokollid kui ka regulatiivsed standardid: andmete turvalisuse ja privaatsuse tagamiseks. (Holdowsky, Mahto, Raynor, Cotteleer 2015).
- Võimendatud intelligentsusega (*Augmented intelligence*) ehk analüütiliste tööriistadega, mis parandavad võimekust kirjeldada, ennustada ja ära kasutada fenomeni seoseid (Holdowsky, Mahto, Raynor, Cotteleer 2015). Mida rohkem on andmeid seda kõrgemal tasandil saab olla analüüsivate programmide võimekus ja seda suurimat kasu on võimalik sellest saada, mida ilmestab ka alljärgnev joonis 8.



Joonis 8. Analüüsivõime tüübid ja sellest saadav ärintulu.

Allikas: (Davenport, Harris: 2007); autori tõlge.

Ford (2015) leiab, et digitaliseerimine ei ole lihtsalt automatiseerimine vähendamaks tööjõu kulusid vaid automatiseerimine on võimaluste loomine, mis võimaldab juhtida ettevõtet kirurgilise täpsusega. Seega võimendatud intelligentsus loob ettevõttele konkurentsieelise.

- Võimendatud käitumine (*Augmented behavior*) ehk tehnoloogiad ja tehnikad, mis aitavad parandada eesmärgistatud tegevuse teostamist. Võimendatud käitumises saab

nimetada 3 erinevat tüüpi liidest: masin-inimene, masin-masin ja organisatsiooniline. (Holdowsky, Mahto, Raynor, Cotteleer 2015).

Kokkuvõtlikult on asjade internet seadmete kogum, mille osised sisaldavad elektroonikakomponente, sensoreid, täiturmehhanisme, turvalahendusi, võrgutarkvara ja liideseid. Sealjuures antud seadmed on võimelised koguma, vahendama, töötleva, analüüsima ja võtma iseseisvalt vastu otsuseid.

1.3 Saksamaa ja Rootsi kogemused tööstuse arengusuundade kujundamisel

Autor valis Tööstus 4.0 teekaardi soovitude väljatöötamiseks Eesti mehhatroonika- ja masinatööstusele referentsriikideks Saksamaa ja Rootsi. Saksamaa valimisse osutumisel sai määravaks asjaolu, et töö autori arvates on antud riigis konkurentsilt läbimõeldum ja süsteemseim tööstuse arendamise kava. Rootsi aga seetõttu, et tegemist on tugeva tööstusriigiga ning Eesti suurima kaubanduspartneriga (Statistikaamet 2017).

Saksamaa tööstus on maailmas üks kõige konkurentsivõimelisemaid. Liitvabariik on globaalsel skaalal juhtiv tööstustehnoloogia tootjariik, mis on saavutatud tänu riigi pühendumisele tööstuse uuringutele, arendamisele ja innovaatilisele tootmistehnoloogiale. (Kagermann, Wahlster, Helbig 2013). Riik on suurim teadus- ja arendustöötajate arvuga riik maailmas (Eurostat: 2017). Saksamaa kõrgtasemel seadmed ja IT kompetents, *know-how* manussüsteemides ning automatiseerimise arendamises annab riigile väga hea lähtepositsiooni kindlustamaks veelgi oma liidripositsiooni inseneriteadustes. Sellest lähtuvalt soovib Saksamaa kasutada oma unikaalset positsiooni ja viia riigi tööstus uuele tasemele – Tööstus 4.0 tasemele. Saksamaa on eesmärgiks seadnud tugevdada oma juhtpositsiooni ja saada juhtivaks kõrgtehnoloogia tootjaks. (Kagermann, Wahlster, Helbig 2013). Samas kuulub Saksamaa koos Eestiga riikide gruppi - gruppi, mille elanikkond on järgnevatel kümnendikel vähenev. Prognooside kohasel langeb Saksamaa rahvaarv tänaselt 82 miljonilt 70 miljonile 2061. aastaks (Eurostat 2017).

Saksamaa elnikkond on nii Euroopa kui maailma mõistes vana - olles kõige vanema elanikkonnaga Euroopa riik, kelle elanikkonnast 21% on vanuses 65 või enam (Eurostat 2017). Seega lisaks väga suurele tööstuslikule potentsiaalile on töö autori avates Saksamaal ka väga suur sotsiaalne vajadus ning motivatsioon muuta oma tööstust, sest ilma selleta algab riigis majanduse võimekuse hääbumisprotsess.

Rootsi osutus referentsriigiks seevastu põhjusel, et Rootsi on olnud viimased aastad Eesti suurim ekspordipartner, moodustades 2015. aastal 19% Eesti koguekspordist. (Statistikaamet 2017). Rootsi on ka riik kellega Eestil oli 2015. aastal suurim kaubavahetuse ülejääk - 1,1 miljardit eurot (Eesti statistika aastaraamat 2016). Kuna Rootsi on Eesti jaoks väga oluline kaubanduspartner on töö autori arvates äärmiselt oluline olla teadlik, milline on Rootsi tööstuspoliitika visioon ehk millises suunas juhib Rootsi oma tööstust. Seda eriti põhjusel, et Eesti mehhatroonika- ja masinatööstus toodab väga suures mahus komponente just Rootsi tööstusettevõtetele.

Erinevalt Saksaast kuulub Rootsi riikide gruppi, kelle elanikkond on kasvamas. Prognooside kohaselt elab Rootsis aastal 2061 pea 20% rohkem inimesi kui elas 2008. aastal. 2015. aastal oli Rootsi elanikkonnast 19,9% vanuses 65 aastat või vanemad. (Eurostat 2017). Seega tõenäoliselt ei tunnetata töö autori arvates Rootsis vähenevast ja vananevast ühikonnast niivõrd tugevat survet kui Saksamaal ning lähtudes erinevast olukorrast kannavad ka antud riikide tööstuste arendamise programmid erinevat rõhuasetust.

Peavisioonid ja juhtideed. Saksamaa tööstuse arendamise programm kannab nime *Industrie 4.0* ja Rootsi vastava programmi nimetus on *Sweden 2030*. Mõlema maa eesmärk on sama – kindlustada oma tööstuse jätkusuutlikus. *Industrie 4.0* peavisioon on: olla juhtiv tarkade tootmisüksuste tootja ja tarkade lahenduste müüja (Kagermann, Wahlster, Helbig 2013). Seevastu *Sweden 2030* peavisioon on olla jätkusuutlike toodete tootjariik ning on rõhutatud, et need tooted peaks olema lõpptooted ja targad tooted (Made in Sweden 2030 2013). Seega Saksamaa on keskendunud tehnoloogilise süsteemi süsteemsele arendamisele, mille lõpptulemuseks on tark toode. Rootsil on seevastu keskmes lõpptoode (jätkusuutlik lõpptoode) jättes toodet loovad süsteemid ning kuidas see saavutatakse rohkem tahaplaanile.

Autori arvates tulevad programmide erinevused ühe põhjusena rahvaarvutendentside erinevustest – Saksamaa, kelle rahvaarv väheneb peab oma tootmist paratamatult efektiivistama, sest töötavate inimeste arv järjest väheneb. Samal ajal peab suutma riigi sotsiaalsüsteem toime tulla suureneva mittetöötavate vanurite arvuga. Teine suur mõjur on konkurentriikide (USA, Hiina) analoogsed tööstuste arendamiste programmid.

Nii Saksamaa (Kagermann, Wahlster, Helbig 2013) kui ka Rootsi (Made in Sweden 2030 2013) tööstusprogramm näevad, et üks võtmetegur on tugevdada sidemeid ülikoolide, uurimis- ja tootmisettevõtete vahel - tuleb suurendada inimeste rotastiooni asutuste vahel, luua ühiseid töögrupe. Mõlemad riigid leiavad, et tootmisüksused peavad muutuma rohkem teadmisintensiivseteks, olema paindlikud, efektiivsed, keskkonna mõistes jätkusuutlikud ja minimaalselt keskkonda koormavad. Toode ja tootmise arendamine peavad olema paralleelsed protsessid alates ideest kuni lõpptoodanguni. Samuti on toodud mõlema riigi programmis teadustöö ja uuringute suurendamise olulisus.

Saksamaa tööstuse arendamise programmi järgi on äärmiselt oluline suuurendada nii horisontaalset kui vertikaalset integratsiooni (Kagermann, Wahlster, Helbig 2013). Rootsi programm seevastu ütleb üldsõnalisemalt: tuleb ära kasutada võimalikult palju infotehnoloogia rakendamisest saadavaid kasutegureid (Made in Sweden 2030 2013). See viimane on põhimõtteline erinevus – Saksamaa on määratlenud edu saavutamise konkreetse teekonna ja seadnud IT edu saavutamise keskmesse.

Lisaks eelnevalt mainitule on Rootsi tööstuse arendamise programmis (Made in Sweden 2030 2013) määratletud järgnevad edu saavutamise tegurid:

- teadmistaseme tõstmine mikro- ja nanostruktuuridest;
- uut tüüpi toodete arendamine: luua tooted, mis on kergesti ümbertöödeldavad, kergekaalulised;
- arendada materjalide taaskasutust ja ümbertöötlust;
- investeerimise suunamine atraktiivsesse, inovatilistesse, uurimis- ja haridussüsteemidesse;

- programmide loomine, mis motiveerivad väike ja keskmise suurusega ettevõtteid panustama arendusse, uuringute tegemisele ja innovatsioonile;
- sidemete tugevdamine üliõpilaste ja tööstuse vahel;
- üliõpilaste motivatsiooni tõstmine osalemaks tööstusega seotud teemade uurimisel;
- riikliku tööstuskõrgkooli loomine;
- riikliku tootmistöötajate koolitusprogrammi loomine;
- rahvusvaheliste koostöö uurimisprojektide soodustamine;
- karjääri muutmine tootmissektoris ihaldusväärseks valikuks.

Kahe riigi võrdluses oleks Rootsil justkui rohkem tegevusi, samas on need töö autori arvates suhteliselt deklaratiivsed. Saksamaal on seevastu tehtud reaalseid tegevusi Tööstus 4.0 rakendamiseks – loodud töögrupid, millesse kuuluvad esindajad ettevõtlusest, teadusasutustest, erialaliitudest, kaubandusühendustest ja ministeeriumitest. Saksamaa tegevused on konkreetsed ja struktureeritud. Saksamaa tööstusprogramm on keskendunud tervikliku targa süsteemi loomisele. (Kagermann, Wahlster, Helbig 2013). Rootsi seevastu jätkusuutlikult toodetud tarkade toodete tootmisvõimekuse arendamisele (Made in Sweden 2030 2013).

Tabel 1. Tööstus 4.0 karakteristikute olulisuse hindamine

Tootmist mõjutavad globaalsed megatrendid	Vertikaalne integratsioon	Horisontaalne integratsioon	Targad seadmed	Koguahela disain
Kõik asjad suhtlevad	2	2	2	
Uued ärimudelid	2	2	2	1
Toorainete defitsiit			1	2
Digitaliseerimine	2	2	2	
Rahvastiku vananemine	2	1	2	
Uued materjalid			1	2
Mõju tööstuse arengule kokku	8	7	10	5

Allikas: Autori koostatud tööstuse arendamise programmide Industrie 4.0 ja Sweden 2030 põhjal. Märkused: 1=olulisus kõrge, 2=olulisus väga kõrge.

Põhinedes *Industrie 4.0* ja *Sweden 2030* programmidele on Tööstus 4.0 olulisemaks karakteristikuks targad masinad, järgneb vertikaalne integratsioon ja seejärel horisontaalne integratsioon koos koguahela disainiga.

Referentsriikidega võrreldes sarnaneb Eesti rahvastikuprotsessides pigem Saksamaaga – mõlemas riigis on pikemas ajaperioodis rahvaarv vähenemas ning kasvab surve sotsiaalsüsteemile (Eurostat 2017). Samas on Eesti tugevasti integreeritud Rootsi majandusega ning nende tööstuspoliitika mõjutab ka Eesti tööstust. Lähtudes eelnevast tuleb autori arvates Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse ettevõtte Tööstus 4.0 teekaardi väljatöötamisel lähtuda mõlema riigi tööstuse arendamise kavade parimatest osadest.

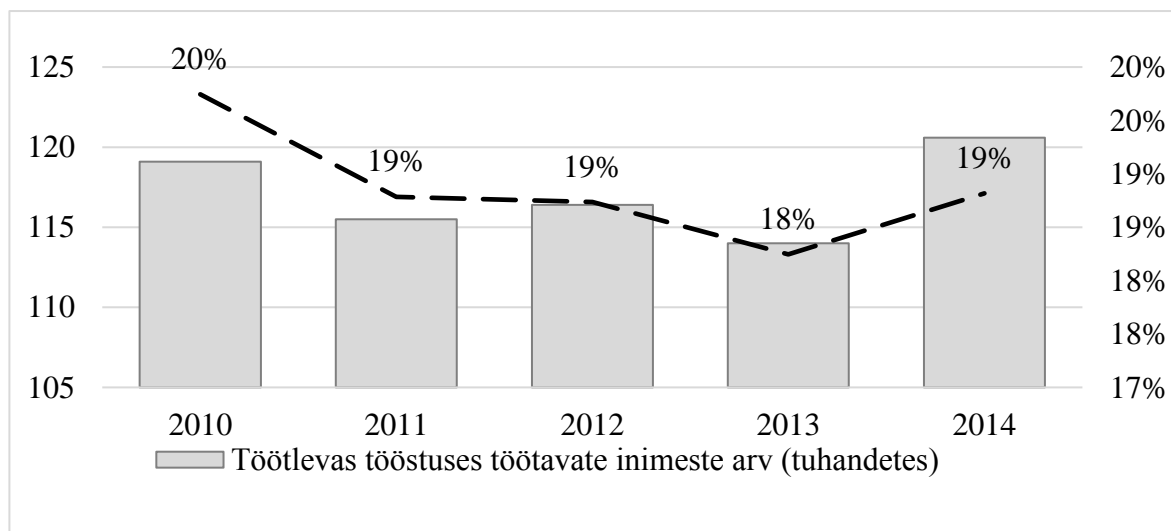
2. EESTI MEHHATROONIKA JA MASINATÖÖSTUSELE TEEKAARDI KUJUNDAMINE TÖÖSTUS 4.0 RAKENDAMISEKS

2.1 Eesti mehhatroonika- ja masinatööstusettevõtete ülevaade

Peatükis antakse ülevaade Eesti töötleva tööstuse ja sealhulgas mehhatroonika- ja masinatööstuse lähimineviku suundadest ja tänasest seisust ning läbi analüüsi leitakse valdkonna jaoks olulised tegurid ja tuleviku arengutrendidest.

Statistikaameti sõnastuses nimetatakse töötlevaks tööstuseks „tööstust, mis tegeleb materjalide, ainete või komponentide mehaanilise, füüsikalise või keemilise muundamise või töötlemisega uueks tooteks. Töödeldav materjal, aine või komponent on põllumajanduses, metsanduses, kalanduses või mäetööstuses toodetud toore või töötleva tööstuse mõne teise tegevusala toode. Tavaliselt tähendab töötlemine kauba olulist muutmist, renoveerimist või rekonstrueerimist. Tootmisprotsessi väljund võib olla valmistoode (valmis kasutamiseks või tarbimiseks) või pooltoode, mis on edasise tootmise sisend. Töötleva tööstuse osa on ka toodete kokkupanek omavalmistatud või ostetud detailidest.“ (Statistikaamet 2017).

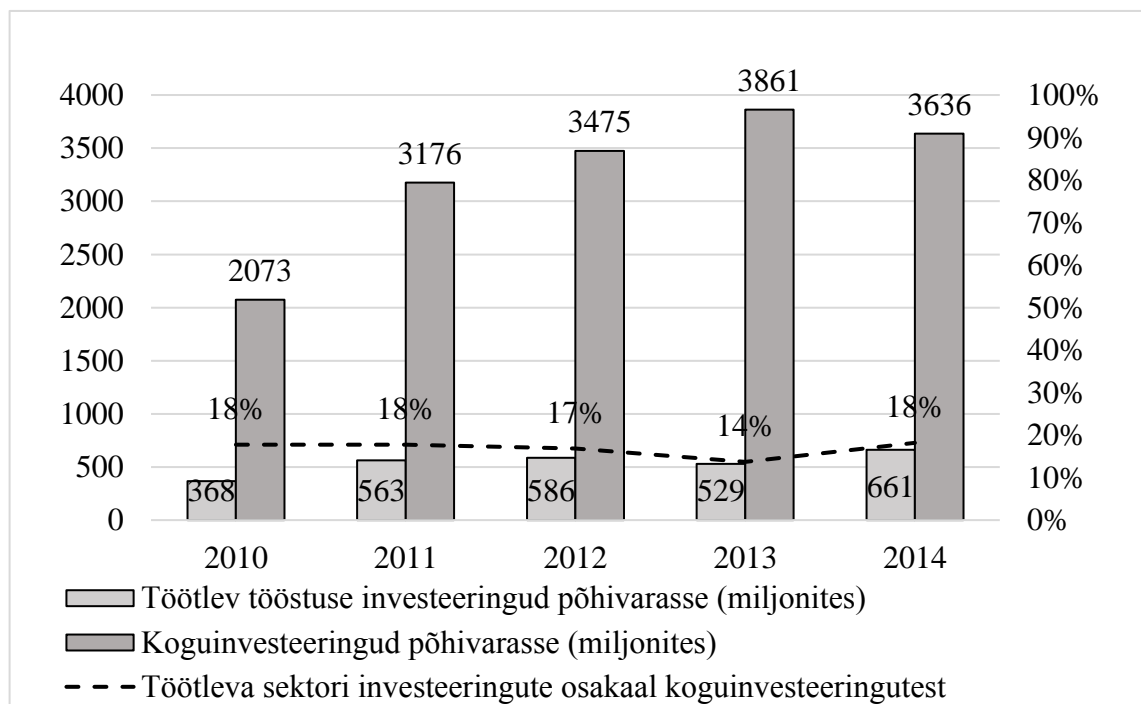
Töötlev tööstus on olnud aastaid Eesti suurim tööandja, andes tööd keskmiselt 18-20% Eestis töötavatest inimestest (Statistikaamet 2017). Töötleva tööstuse olulisust iseloomustab alljärgnev joonis 9.



Joonis 9. Töötleva tööstuses töötavate inimeste arv ja osakaal 2010-2014 a.
Allikas: (Eesti statistika aastaraamat: 2016); autori koostatud, autori arvutused.

Kui 2010. aastast kuni 2013. aastani oli töötajate arv töötleva tööstuse sektoris pigem langustrendis. langes 20%-lt 18%-le , siis 2014. aastast toimus töötajate arvu kasv ning töötleva tööstuse sektor suutis hõivata 16100-st uuest tööturule sisenenud töötajast 41% ehk 6600 töötajat (Statistikaamet: 2017). Lisaks annab töötlev tööstus tööd väga suures mahus mitmele teisele ettevõtlusharule – näiteks transpordi-, tööstusehituse- kaubandus- ja äriteenuste sektorile.

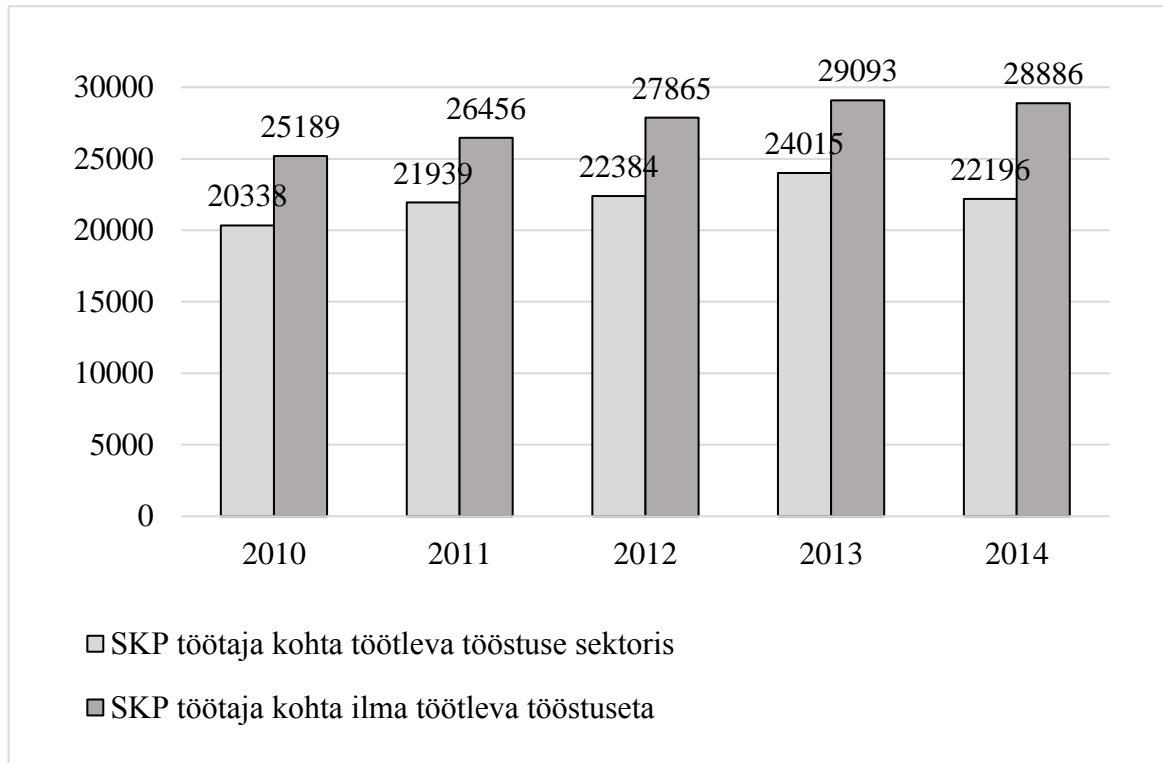
Investeeringud töötleva tööstuse sektoris on korrelatsioonis antud sektoris hõivatute osakaaluga, mis nähtub ka alljärgnevalt jooniselt 10.



Joonis 10. Koguinvesteeringud ja töötleva tööstuse investeeritud aastatel 2010 – 2014; miljonit eurot. Allikas: (Eesti Statistika Aastaraamat: 2016); autori koostatud, autori arvutused.

Töötleva sektori vaatenurgast on positiivne, et 2014. aastal suudeti kasvatada investeeringuid põhivarasse samal ajal, kui Eestis tervikuna investeeringud põhivarasse vähenesid. Samas

sisemajanduse koguprodukt (SKP) töötaja kohta kasvab väljaspool töötlevat sektorit kiiremini. Graafiliselt väljendatud alljärgneval joonisel 11.



Joonis 11. Töötleva tööstuse ja teiste sektorite SKP võrdlused aastatel 2010-2014; euro. Allikas: (Eesti Statistika Aastaraamat: 2016); autori koostatud, autori arvutused.

Jooniselt 11 on näha, et töötleva sektori SKP töötaja kohta on pidurdunud ja võrreldes teiste sektorite keskmise SKP-ga ning liigub aeglasemas tempos. Seega saab autori arvates väita, et Eesti töötleva tööstuse sektor vajab uut tõuget, uut moodi lähenemist, sest seni viljeletud tootmissüsteemid enam lihtsalt ei toimi.

Järgnevalt on vaatluse all, kuidas on läinud ja läheb töötleva tööstuse alla kuuluval Eesti mehhatroonika- ja masinatööstusel. Masinatööstus integreerub järjest rohkem täppismehaanika, elektroonika, infotehnoloogiaga ja optikaga moodustades nn mehhatroonika tööstuse. Niisamuti integreeruvad elektroonika ja elektriseadmete tootjad oma toodangusse masinatööstuse osiseid. Seoses eelpool kirjeldatud tööstussektori muutustega on tööstusalade selged piirid veidi hägustunud. Mehhatroonika ja masinatööstuse

valdkonda loetakse lähtudes EMTAK 2008 (Emtak 2008) klassifikatsioonis järgnevaid tööstusharusid:

- C26 Arvutite, elektroonika- ja optikaseadmete tootmine.
- C27 Elektriseadmete tootmine.
- C28 Mujal liigitamata masinate ja seadmete tootmine.
- C29 Mootorsõidukite, haagiste ja poolhaagiste tootmine.
- C30 Muude transpordivahendite tootmine.

Järgnevalt on vaatluse all C26-C30 viimaste aastate arengud. Töötleva tööstuse sektoris C26-C30 tegutsevad ettevõtted annavad ligikaudu veerandi Eesti tööstustoodangu käibe mahust, näidatuna alljärgnevas tabelis 2.

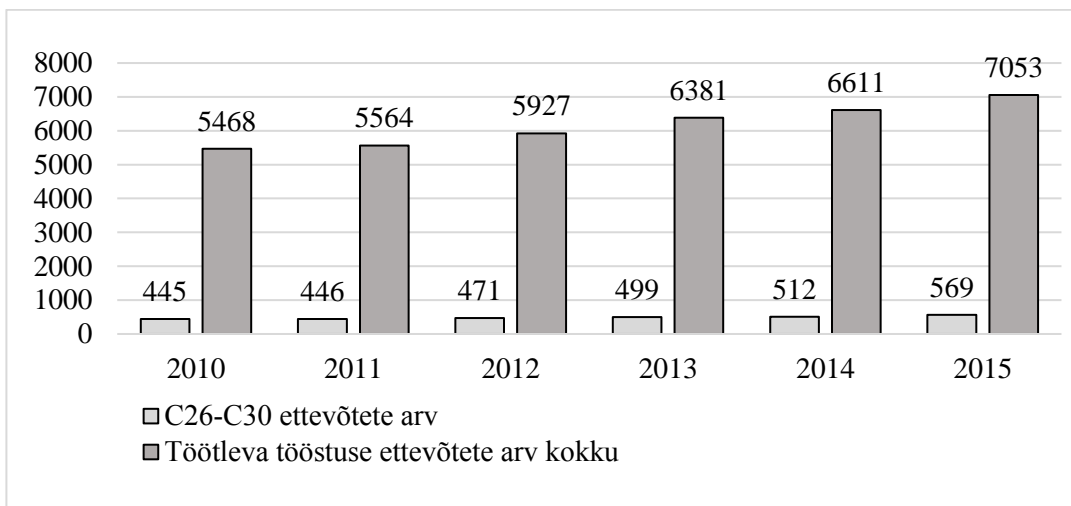
Tabel 2. Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse ettevõtete tööstustoodangu osakaalud 2010-2015 a. kogu Eesti tööstustoodangu käibe mahust.

Valdkond	2010; %	2011; %	2012; %	2013; %	2014; %	2015; %
Arvutite, elektroonika- ja optikaseadmete tootmine	10,8	16,1	16,4	15,6	15,1	13,9
Elektriseadmete tootmine	4,5	4,6	4,7	4,7	4,5	4,9
Masinate ja seadmete tootmine	2,4	2,8	3,0	2,8	2,8	3,1
Mootorsõidukite, haagiste ja poolhaagiste tootmine	3,1	3,1	2,8	2,6	2,6	2,8
Muude transpordivahendite tootmine	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
Kokku	21,4	27,2	27,5	26,2	25,5	25,2

Allikas: (Statistikaamet: 2017).

2011. aastal toimus grupi C26 märgatav osakaalu tõus 5,3%. Tõus oli seotud ühe suure elektroonikaettevõtte (Ericsson) tootmise Eestisse toomisega. Järgnevate aastate trendid näitavad pigem vaadeldavas ajavalikus langustrendi.

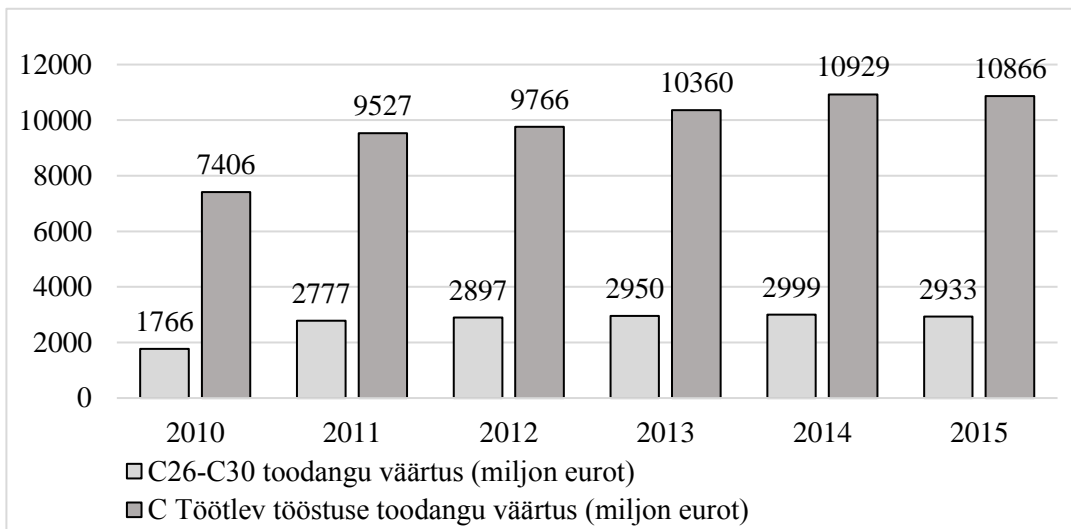
Nii gruppides C26-C30 kui ka töötlevas tööstuses tegutsevate ettevõtete arv on aasta aastalt kasvanud, mida on näha alljärgneval joonisel 13.



Joonis 13. Töötleva tööstuse ja C26-C30 tegutsevate ettevõtete arv 2010 - 2015 a.
Allikas: (Statistikaamet: 2017); autori koostatud.

Ajavahemikus 2010 – 2015 a. tõusis töötleva tööstuse sektoris ettevõtete arv 29,0% (2015 aasta tase võrrelduna 2010 aastaga). Samas suurusjärgus toimus ka muutus grupis C26-C30, kus vastav tõus oli 27,9%

Töötleva tööstuse toodangu, kui ka grupi C26-C30 kauba koguväärtus on aastatega liikunud ülespoole ja kujutatud graafiliselt alljärgneval joonisel 14.



Joonis 14. Töötleva tööstuse ja C26-C30 tegutsevate ettevõtete toodangu väärtus 2010 - 2015 a.
Allikas: (Statistikaamet: 2017); autori koostatud.

Ajavahemikus 2010–2015 a. tõusis töötleva tööstuse sektoris toodetava kauba koguväärtus 46,7% (2015 aasta tase võrrelduna 2010 aastaga). Seejuures grupi C26-C30 vastav tõus oli 66,1%, seega märkimisväärselt suurem.

Tunnitootlikkus müügitulu alusel ehk müügitulu ja tegevuskulude sihtfinantseerimise summa jagatuna töötatud tundide arvuga on töötlevas tööstuses ajavahemikus 2010-2015 a. muutunud positiivses suunas, tõustes 25%. C26-C30 on muutused olnud erinevad ja kohati liikunud ka erisuunas. Muutused on toodud alljärgnevas tabelis 3.

Tabel 3. Tunnitootlikkus (€/h) müügitulu alusel 2010-2015 a. töötlevas tööstuses ja grupis C26-C30.

	2010; €/h	2011; €/h	2012; €/h	2013; €/h	2014; €/h	2015; €/h	2015 muutus 2010 aastaga; %
C Töötlev tööstus	48,5	57,6	58,3	60,6	60,9	60,4	25
C26 Arvutite, elektroonika- ja optikaseadmete tootmine	101,6	163,0	176,1	178,5	172,7	164,4	62
C27 Elektriseadmete tootmine	56,4	59,2	61,3	62,5	59,9	61,4	9
C28 Muijal liigitamata masinate ja seadmete tootmine	40,78	50,2	50,3	49,4	50,6	55,1	35
C29 Mootorsõidukite, haagiste ja poolhaagiste tootmine	50,6	54,5	50,5	50,7	52,1	58,5	16
C30 Muude transpordivahendite tootmine	47,0	46,7	52,6	59,2	57,1	43,4	-8

Allikas: (Statistikaamet: 2017); autori arvutused.

Andmetest on näha, et vaid C28 ja C29 on ajavahemikus 2013 - 2015 a. suutnud tunnitootlikkust tõsta, teistes gruppides on aga toimunud tootlikkuse langus. Kõrvutades tunnitootlikkuse tööjõukuludega näeme, et tööjõukulud samas ajavahemikus on tõusnud tunduvalt kiiremini, mis avaldub tabelis 4.

Tabel 4. Keskmise brutokuupalga muutus töötlevas tööstuses 2010 - 2015 a.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Keskmise brutokuupalga juurdekasvutempo võrreldes eelmise perioodiga; %	5,2	5,9	8,1	7,1	5,5	5,8
Keskmine rahaline brutokuupalk; eurot	751	795	861	922	973	1030

Allikas: (Statistikaamet: 2017); autori arvutused.

Töötleva tööstuse brutokuupalga kasv on olnud keskmiselt 6,3% aastas. 2015. aastal tööstuse brutopalk 37% kõrgem võrreldes 2010. aastaga. Eesti Panga juht Ardo Hansson (2016) on hoiatanud, et kui tööviljakus ei suurene, siis on tulemuseks palgatõususe oluline aeglustumine, võimalik on ka palkade alanemine koos tööpuuduse suurenemisega. Siinjuures peab nentima, et tööviljakuse tõus ei ole kinni vaid tehnoloogias - näiteks leiab majandusanalüütik Heido Vitsur (Paas, Saarmann 2015), et „eestlased ei ole laisad ega rumalad, kuid ilmselt üsna tagasihoidlikud ning, et meie tagasihoidlikkus mõjutab meie edukust palju enam see, et oleme üpris naiivsed ja liig sageli ei tee vahet enda ja teiste huvide vahel ja pahatihti ei pane tähele vastuolusid teiste jutus ja tegevustes“. Käesolevas töös keskendub töö autor siiski vaid tööviljakuse ehk müügitulu ja sihtfinantseeringutest saadud tegevustulu jagatud tööga hõivatud isikute arvuga kasvu võimalustele, mida annab tehnoloogia ja koguaheladisaini areng.

2.2 Uurimistöö metoodika kirjeldus

Uurimistöö teoreetilises osas jõudis töö autor referentsriikide tööstuse arendusprogrammide ja globaalsete trendide analüüsi järel põhjusteni, mis on tinginud antud riikides tööstuse reformimise. Töö uurimismetoodikas kasutatakse referentsriikide tööstusprogrammide analüüsi, varasemate samateemaliste uuringute analüüsi (metaanalüüsi), SWOT analüüsi ja intervjuudele tuginevat analüüsi ning Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse majandusnäitajate analüüsi. Uurimistöö etapid on toodud järgneval joonisel 15.



Joonis 15. Magistritöö etapid ja ajakava

Allikas: (autori koostatud).

Töö autor otsustas Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse hetkeolukorra ja lähituleviku kaardistamiseks läbi viia poolstruktureeritud küsimustikuga intervjuud. Seda põhjusel, et töö autori andmetel ei ole Eestis läbi viidud samasisulisi uuringuid viisil, mis oleksid sobilikud töötamaks välja soovitusi Tööstus 4.0 teekaardi loomiseks Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse ettevõtetele. Intervjuude käigus küsitleti ettevõtte ja/või ettevõtte tehnoloogia arenduste eest vastutavaid juhtivtöötajaid.

Tervikliku ülevaate ja erisuste ning seoste leidmiseks lähtus töö autor ettevõtete valikul nende kapitali päritolumaast ja ettevõtete suurusest. Ettevõtte suuruse klassifikatsiooni aluseks on raamatupidamisseadus, mis on kujutatudjärgneval joonisel 16.

Suurettevõte - Töötajate arv > 250 - Varad > 20 miljonit - Käive > 40 miljonit (vähemalt 2 tingimust peab olema täidetud)	}	•Eesti kapitalil •Väliskapitalil
Keskmine ettevõte - Töötajate arv > 250 - Varad > 20 miljonit - Käive > 40 miljonit (vaid 1 tingimust võib olla täidetud)		•Eesti kapitalil •Väliskapitalil
Väikeettevõte - Töötajate arv > 50 - Varad > 4 miljonit - Käive > 8 miljonit (vaid 1 tingimust võib olla täidetud)		•Eesti kapitalil •Väliskapitalil

Joonis 16. Intervjueeritavate valiku kriteeriumid.

Allikas: (Raamatupidamisseadus); autori kujundus.

Kokku viis töö autor läbi 6 poolstruktureeritud küsimustikuga intervjuud, millede kestvused ja intervjueeritavate ametinimetused on toodud alljärgnevas tabeli 5.

Tabel 5. Intervjuude valim ja kestvused

Ettevõtte liik	Intervjueeritav	Kestvus
Suurettevõte Eesti kapitalil	Arendusjuht	1 t 32 min
Suurettevõte väliskapitalil	Tehase juht	2 t 10 min
Keskmine ettevõte Eesti kapitalil	Tehase juht	2 t 20 min
Keskmine ettevõte väliskapitalil	Arendusjuht	2 t 40 min
Väikeettevõte Eesti kapitalil	Ettevõtte omanik ja tegevjuht	1 t 10 min
Väikeettevõte väliskapitalil	Arendusjuht	1 t 5 min

Allikas: (autori koostatud).

Küsimustik sisaldas küsimusi, mille vastused kandsid endas ettevõtete jaoks tundlikku informatsiooni, mistõttu andis töö autor intervjueeritavatele lubaduse uurimistöös mitte nimetada ettevõtete nimesid.

Eesmärk oli välja selgitada, mis tasemel on Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse ettevõtted Tööstus 4.0 põhimõtte rakendamisel, millised on suurimad kitsaskohad ja millised on Tööstus 4.0 põhikriteeriumite arengusuunad. Lähtudes teooriast sünnib suurim kasu ja

sümbioos Tööstus 4.0 rakendamisest nii ettevõtte kui ka riigi jaoks siis, kui vertikaalne-, horisontaalne integratsioon ning toodete ja teenuste koguahela disain lähtuvad samast visioonist ning, kui ettevõtted rakendavad suures mahus tarka, tänapäevast tehnoloogiat. Seejuures on Tööstus 4.0 eelduseks arvutisüsteemide ja platvormide ühildusvõimalus, digitaalne usaldus, andme- ja küberturvalisus, mis koos tarkade seadmete, koguahela disaini ning vertikaalse ja horisontaalse integratsiooniga loob ja kasvatab digitaalse ökosüsteemi, kuid küsitluse läbiviimisel oli vaatluse all siiski vaid antud ettevõtete tänane olukord ja tulevikuväljavaated.

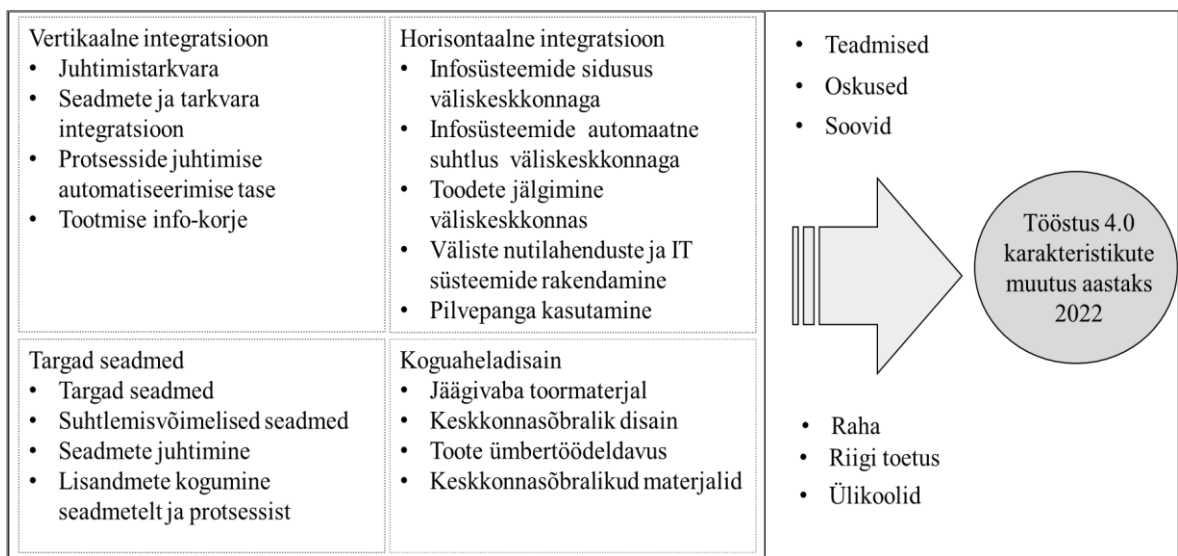
Küsimustiku struktuur baseerus Tööstus 4.0 teooriale ning oli koostatud viisil, mis selgitas välja milline oli ettevõtete seis intervjuu toimumise hetkel, millisena näevad ettevõtted oma arengut viie aasta perioodis, millist abi ootavad ettevõtted riigilt ja ülikoolidelt ning seda Tööstus 4.0 võtmes. Samuti oli küsimustiku eesmärk aru saada, millised teadmised on Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse ettevõtetes tehnoloogia eest vastutavatel isikutel Tööstus 4.0 kontseptsioonist.

Tabel 6. Küsimustiku ülesehitus

Jaotus	Uurimisobjekt	Küsimuste arv
Teoorial baseeruvad küsimused	Vertikaalne integratsioon 2017	3
	Vertikaalne integratsioon 2022	3
	Horisontaalne integratsioon 2017	3
	Horisontaalne integratsioon 2022	3
	Targad seadmed 2017	3
	Targad seadmed 2022	3
	Koguahela disain 2017	3
	Koguahela disain 2022	3
	Tööstus 4.0 soodustavad tegevused	4
	Tööstus 4.0 pidurdavad tegevused	4
Arengu võimekus	Rahaline võimekus	4
	Oskused	4
	Ootused riigile	4
	Ootused ülikoolidele	4
	Tööstus 4.0 teadmised	1
	Tööstus 4.0 rakendustase, ettevõtte enda arvates	1

Allikas: (autori koostatud).

Lisaks konkreetsete küsimuste esitamisele püüdis töö autor välja selgitada, millised probleemid on ettevõtetes tehnoloogia uuendamisega ja rakendamisega ning, kas ettevõtete tehnoloogia arendamise eest vastutavad isikud näevad, et 4.0 põhimõtete rakendamine viib nende ettevõtet edasi ja mis tasemel on Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse ettevõtted intervjuueeritavate arvates aastatel 2017 ja 2022. Intervjuude ja küsimustiku visuaalne väljendus on toodud alljärgneval joonisel 17.



Joonis 17. Allikas: (autori koostatud).

Järgnevas peatükis kirjeldab autor millised olid küsitluse tulemused ning seostab saadud tulemusi teooriaga.

2.3 Analüüsitulemused

Käesolevas alapeatükis analüüsib töö autor küsitletud ettevõtete Tööstus 4.0 karakteristikute arenguid, arenguid soodustavaid ja takistavaid tegureid ning nende arengukiiruseid. Analüüsitakse saadud tulemusi vertikaalse ja horisontaalse integratsiooni, koguahela disaini ning tarkade masinate lõikes. Autor selgitab välja, kas ettevõtte suurus ja kapitali päritolumaa mõjutavad Tööstus 4.0 progressi või mitte.

Vertikaalse integratsiooni arengutaset näitavatest küsimustest oli võimalik kokku saada maksimaalselt 9 punkti. Maksimaalne tulemus tähendab, et:

- ettevõttes on kõik erinevate tasemete juhtimisprotsessid omavahel seotud ja juhitud tervikliku ettevõtte juhtimise tarkvara kaudu;
- ettevõtte kõik tootmisseadmed on ühendatud tootmise juhtimise tarkvarasse ja integreeritud ettevõtte juhtimise tarkvarasse;
- ettevõtte protsesse juhib IT süsteem mitte inimesed. Inimestel on vaid ettevõtte kujundamise ja ebestandartsete probleemide lahendamise roll.

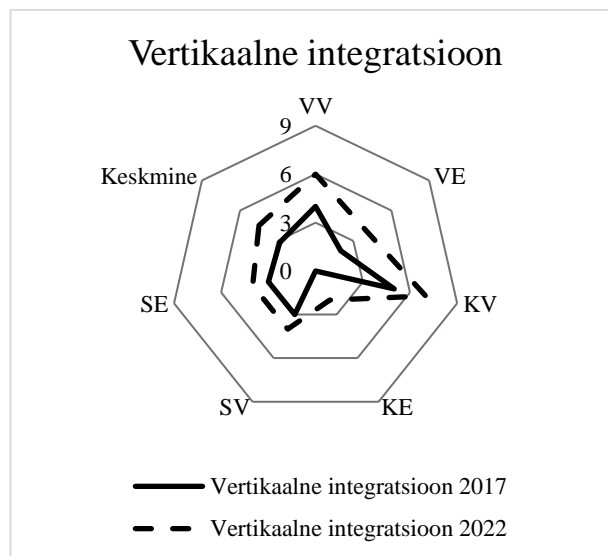
Minimaalne tulemus ehk 0 tähendab, et eelpoolmainitud tegevusi ei teostata mittemingil määral.

Küsimused olid formuleeritud kujul, mis tuvastas ettevõtte tänase seisus ja seisu viie aasta perspektiivis tänaste parimate teadmiste juures antud ettevõtetes töötavate tootmise arenduse eest vastutavate töötajate arvates. Intervjuude põhjal on vertikaalse integratsiooni tase parem pigem väliskapitaliga ettevõtetes ja seda sõltumata ettevõtte suurusest. Valdavalt kasutatakse väliskapitaliga ettevõtetes sama juhtimistarkvara mida emaetevõtetes. Seevastu küsitletud Eesti kapitaliga ettevõtetest oli endale juhtimistarkvara soetanud vaid ettevõtte, kes kuulub suurettevõtjate kategooriasse. Eesti osalusega väike ja keskmise suurusega ettevõtetes kasutati tootmise juhtimiseks Exceli tabeleid, kuid otsitakse sobilikku tootmise juhtimise tarkvara. Ettevõtted, kes kasutavad tootmise juhtimise tarkvara peavad selle kasutamist kasutoovaks, samas ollakse veidi skeptilised, kas juhtimistarkvara osakaalu suurendamine annab ettevõttele lisaväärtust või pigem suurendab administreerimiskoormust. Sellest võib järeldada, et ettevõtted vajavad nõuandeid, mille põhjal valida õige tootmise juhtimise programm ning kuidas tõsta ettevõtte digitaliseeritust viisil, mis tõstab tootmise efektiivsust selmet tõuseb administreerimistase.

Küsitletud ettevõtetes olevate tootmisseadmete hulk, mis on seotud otseselt tootmise juhtimise tarkvaraga on väga väikese osakaaluga või puudub sootuks. Küsitletud kuuest ettevõttest oli vastav liides vaid kahes ettevõttes ja sealgi oli liidetud seadmete osakaal väga väike. Osad intervjuueeritavad (VE 2017, KE 2017, SV 2017) hindavad seadmete ja

juhtimistarkvara ühendamise kulu kõrgeks võrreldes sellest saadavat tulu. Töö autor nõustub, et juhtimistarkvara juurutamine on suhteliselt kulukas protsess. Samas põhinedes autori kogemustele aitab õigesti läbiviidud ja mõtestatud juhtimistarkvara kasutusele võtmine tõsta informatsiooni liikumise kiirust, tõsta ettevõtte toimetulekut mahtude tõusu korral, vähendada mikrojuhtimist ja parandada mitmel muul viisil ettevõtte toimimise efektiivsust. Töö autor on veendunud, et õigesti kasutatud juhtimistarkvara on ettevõtetele kasumlik. Intervjueeritavad, kellel küsitluse hetkel veel juhtimistarkvara ei olnud, kuid kes seda hetkel otsisid tõid välja, et neile pakkumise teinud ettevõtted on pakkunud baasversiooniga tarkvara, mille kohandamine on kulukas ja ajamahukas (EV 2017, EK 2017). Oluliseks peeti ka eesti- ja venekeelse versiooni olemasolu, mis aitaks kiirendada vanemaealiste töötajate väljaõpet (EK 2017). Töö autori arvates võiks erialaliit välja valida parimad kasutusel olevad tootmise juhtimise tarkvarad ja aidata tõsta nende baasversioonid tasemele, mis võimaldaks nende kiiremat ja odavamat kasutuselevõttu. Väiksem erinevate kasutatavate tarkvarade hulk aitaks kiirendada samas sektoris töökohta vahetavate töötajate väljaõppe aega ja vastavate tarkvarade kiiremat arendust.

Ettevõtted valdavalt planeerivad tõsta tootmisest andmekorje hulka ja pigem näevad, et järgneva viie aasta jooksul suureneb ettevõttes juhtimistarkvara roll (VV 2017, VK 2017). Küsitluse põhjal on ettevõttes piisavalt soovi ja teadmisi, kuid vähe raha tõstmaks vertikaalse integratsiooni taset. Ettevõtete vertikaalse integratsiooni tase ja arenguproгноos on toodud järgneval joonisel 18.



Joonis 18. Vertikaalse integratsiooni seis aastal 2017 ja selle areng aastaks 2022. Märkused: VV - väikeettevõtte väliskapitaliga, VE – väikeettevõtte Eesti kapitaliga, KV – keskmise suurusega ettevõtte väliskapitaliga, KE – keskmise suurusega ettevõtte Eesti kapitaliga, SV – suur ettevõtte väliskapitaliga, SE – suur ettevõtte Eesti kapitaliga. Allikas: autori koostatud intervjuude põhjal.

Suurimat toetust vertikaalse integratsiooni valdkonnas vajavad küsitluse tulemuse põhjal Eesti kapitalil olevad väike ja keskmise suurusega ettevõtted.

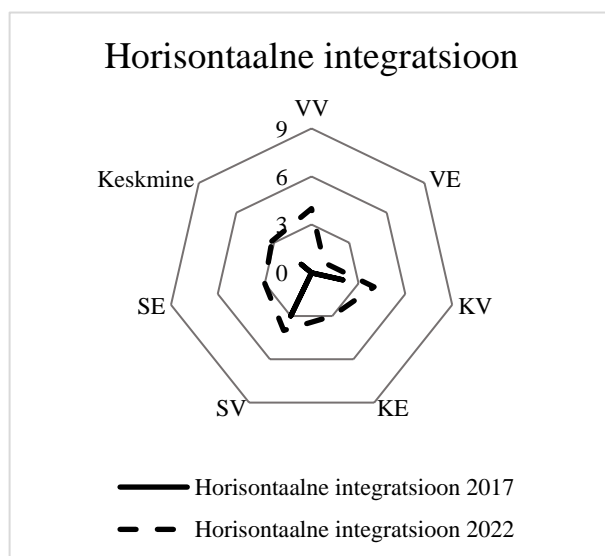
Horisontaalse integratsiooni arengutaset näitavatest küsimustest oli võimalik kokku saada maksimaalselt 9 punkti. Maksimaalne tulemus tähendab, et:

- toorme, komponentide ja tugiteenuste tellimisprotsessid teostatakse automaatselt ilma inimese abita;
- peale toodangu tootmist toimub selle automaate *online* jälgimine;
- ettevõttes kasutatakse väliseid nutilahendusi ja koostööpartnerite arvutisüsteeme oma ettevõtte protsesside parendamiseks.

Minimaalne tulemus ehk 0 tähendab, et eespool mainitud tegevusi ei teostata mittemingil määral. Antud küsimustebloki juures vaadeldi samuti tänast seisuga ja võimalikku seisuga viie aasta pärast.

Küsitlusest selgus, et horisontaalse integratsiooni tase on sõltumata ettevõtte suurusest või kapitali päritolumaast madalal tasemel. Vaid üks ettevõtte teostas komponentide tellimist

automaatselt ning oli seotud koostööpartneri arvutisüsteemiga, eesmärgiga tõhustada oma protsesse (VK 2017). Samuti teostas üks ettevõtte oma toodete *online* jälgimist (VS 2017). Mainitud ettevõtted olid mõlemad väliskapitali enamusosalusega. Kuigi küsitletud ettevõtete horisontaalse integratsiooni tase oli madal arvasid kõik intervjueeritavad, et viie aasta pärast on antud valdkonnas toimunud edasiliikumine (EV 2017, VV 2017, EK 2017, VK 2017, ES 2017, VS 2017). Intervjueeritavad tõid välja, et isegi kui nende ettevõtetes arendatakse välja automaatne tellimuste süsteem, siis tellimuse vastuvõtja ei ole ikkagi tasemel, mis lubaks protsessi teostada automaatselt (VV 2017, VS 2017). Sama küsimustebloki juures küsis töö autor ka pilvepanga kasutamise kohta viie aasta perspektiivis. Kuuest ettevõttest üks kasutas andmete kogumist pilvepanka ja seda eesmärgiga hakata sinna kogutavaid andmeid tulevikus kasutama oma protsesside parendamiseks (VV 2017). Kaks ettevõtet ei pidanud pilvepanka turvaliseks andmete kogumise kohaks ja neli ettevõtet ei näinud antud viisil andmete kogumist enda jaoks tulutoovaks tegevuseks. Horisontaalse integratsiooni seis täna ja viie aasta perspektiivis on toodud alljärgneval joonisel 19.



Joonis 19. Horisontaalse integratsiooni seis aastal 2017 ja selle areng aastaks 2022. Märkused: VV - väikeettevõtte väliskapitaliga, VE – väikeettevõtte Eesti kapitaliga, KV – keskmise suurusega ettevõtte väliskapitaliga, KE – keskmise suurusega ettevõtte Eesti kapitaliga, SV – suur ettevõtte väliskapitaliga, SE – suur ettevõtte Eesti kapitaliga. Allikas: autori koostatud intervjuude põhjal.

Kokkuvõtlikult horisontaalse integratsiooni tase on madal ja see on peamiselt tingitud, üleüldisest ettevõtete madalast digitaliseerituse tasemest, pilvetechnoloogia mitte usaldamisest ja kasuvõimaluste mitterägemisest suurandmete kasutamisest.

Tarkade masinate küsimustikeblokist oli võimalik kokku saada maksimaalselt 9 punkti. Maksimaalne tulemus tähendab, et:

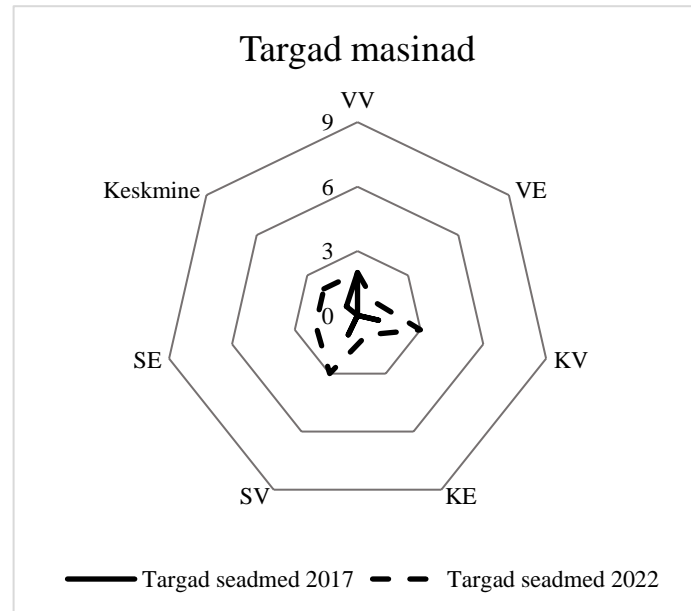
- kogu ettevõtte seadmeпарк on kõrg-automaatsel tasemel ehk seadmed on suutelised tööoperatsioone sooritama ilma inimese abita;
- seadmeid saab opereerida - nii seadistada kui juhtida kaugjuhtimise teel üle arvuti arvutivõrgu;
- seadmed on võimelised teineteisega „suhtlema“ muutes vajadusel opereerimise kiirust, tellides automaatselt komponente jne.

Minimaalne tulemus ehk 0 - tähendab, et kõik seadmed on eraldiseisavad üksused, neid seadistatakse käsitsi, opereerimiseks vajavad tööjõudu ning neid ei ole võimalik ei opereerida ega ka ümber seadistada üle arvutivõrgu.

Väliskapitaliga ettevõtete Eestisse toomisel liikusid siia peamiselt tööjõumahukad tootmised. Toomised, mille partiid on väikesed ning mille automatiseerimine on keerukas. Väga tihti ilmestab Eesti tootmisettevõteteid väikepartide tootmine (Kangru: 2017). Kangru (2017) poolt läbi viidud uurimistöös, milles uuriti Eesti tööstuse robotika olukorda, selgus, et tervelt 50% Eesti tootmisettevõtetes toodetud partiidest olid koguses 10 – 100 ühikut.

Külastatud ettevõtete seadmeпарк oli valdavalt vanem, seadmed vajasisid nii häälestuseks kui opereerimiseks suurel määral tööjõudu. Intervjuude käigus kinnitasid väliskapitaliga ettevõtete esindajad, et kuigi nende ettevõtted teenivad korraliku kasumit on investeeringute saamine masinapargi uuendamiseks väga raske ja pikk protsess. Väliskapitaliga ettevõtete esindajad kinnitasid sama - iga investeering arvutatakse ja kaalutakse mitmeid kordi enne lõplikku kinnitamist üle ning pigem suunavad ettevõtte omanikud investeeringu taotlejad protsesside ja töö intensiivistamisele, kui asuvad investeeringuteks raha eraldama. Seevastu Eesti kapitaliga ettevõtetes, milles intervjuud läbi viidi investeeringute saamise raskuse üle ei kurdetud – kui ettevõttel on kasumit, siis osa sellest ka investeeritakse innovaatilistesse

seadmetesse. Tarkade masinate kriteeriumit graafiliselt kujutav olukord on toodud alljärgneval joonisel 20.



Joonis 20. Tarkade seadmete seis aastal 2017 ja selle areng aastaks 2022. Märkused: VV - väikeettevõtte väliskapitaliga, VE - väikeettevõtte Eesti kapitaliga, KV - keskmise suurusega ettevõtte väliskapitaliga, KE - keskmise suurusega ettevõtte Eesti kapitaliga, SV - suur ettevõtte väliskapitaliga, SE - suur ettevõtte Eesti kapitaliga.

Allikas: autori koostatud intervjuude põhjal.

Igas ettevõttes, milles intervjuu läbi viidi oli töökohti, mille automatiseerimiseks eksisteerivad turul automaatsemad lahendused, kuid veelgi rohkem oli töökohti, mida on küll võimalik automatiseerida, aga mis on ajutise või tihti muutuva iseloomuga. Selliste tööoperatsioonide automatiseerimiseks, robotiseerimiseks tegi ühe külastatud ettevõtte arendusjuht ettepaneku, et Eesti ülikoolid ja rakenduskõrgkoolid peaksid võtma oma südameasjaks arenda just antud valdkonda - odava hinnaklassi, kergesti õpetatava, moodulrobotiseerimise valdkonda. Seda seoses sellega, et Eesti tootmisettevõtetes toodetakse väikepartiisid. Kui Eestis oleks odavate moodulrobotiseerimise tase kõrgel tasemel, siis võimaldaks see Eesti väike- ja mikroettevõtetel tõsta oma tootmised uuele efektiivsuse ja kvaliteeditasemele, mis omakorda võimaldaks keskmise suurusega ja suurettevõtetel liikuda oma tootmisega väärusahelas aste kõrgemale. Täna ülikoolides arendatav robotiseerimine on pigem mõeldud suurpartiide tootmiseks, mis on kallis ja mille

programmeerimine nõuab kõrgema kvalifikatsiooniga töötajaid. Selliseid töötajaid on aga Eesti tööstusmaastikul vähe ning seetõttu on nende töötunni hind ka kõrge. Tekkinud on olukord, kus Eesti tootmine ja haridussüsteem elavad erinevates maailmades. Peab tõdema, et selline arvamus oli enamuses külastatud ettevõtetes.

Kõik intervjuueeritavad leidsid, et suuremamahulised investeeringud tootmiseseadmetesse on hädavajalikud, kuna konkurentsipüsimiseks on tekkinud nii kvaliteedi tõstmise kui ka suurema kiiruse surve. Küsitletud ettevõtetes on planeeritud teadus- ja arendustegevusteks investeerida järgneval viiel aastal üldjuhul 3-5%. Erandiks oli vaid väliskapitalil väikeettevõtte, mille vastav suurusjärk on intervjuueeritava sõnul üle 5%-i. Töö autori arvates on sellises suurus investeeeringud märkimisväärsed ja sisendavad usku innovatsiooni kasvu Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse ettevõtetes. Tajutakse, et seoses vana Euroopa suurematele investeerimismahtudele on Eesti ekspordivõimekus langenud, sest meie tootmisettevõtete seadmed on aeglased, ega suuda pakkuda sama kõrget kvaliteeti. Arvestades eelnevat koos kallineva tööjõuhinnaga (Tabel 4. lk. 30) on Eesti ekspordivõimekus langenud. Samas oli intervjuueeritaval usku, et järgneva viie aasta perspektiivis seadmepark pigem uueneb, kui jääb vanemaks ning tõuseb ka automatiseerituse tase. Autori arvates on oluline tõsta ettevõtjate teadmistaset, et investeeritaks seadmetesse, mida tulevikus saab integreerida targa tööstuse süsteemidesse.

Koguahela disaini küsimusteblokist oli võimalik kokku saada maksimaalselt 9 punkti. Maksimaalne tulemus tähendanuks, et:

- toodete disain on tehtud viisil, mis arvestab toorme ja komponentide tootmise keskkonnasõbralikkust;
- toodete disain on tehtud viisil, mis avaldab keskkonnale minimaalset mõju. Näiteks kasutatakse maksimaalselt korduvkasutatud ja keskkonnasõbralikke materjale;
- tooted on nende eluea lõpus täielikult ümbertöödeldavad.

Minimaalne tulemus ehk 0 tähendanuks, et eelpool nimetatud tegevusi ja mõtteviisi ei rakendata.

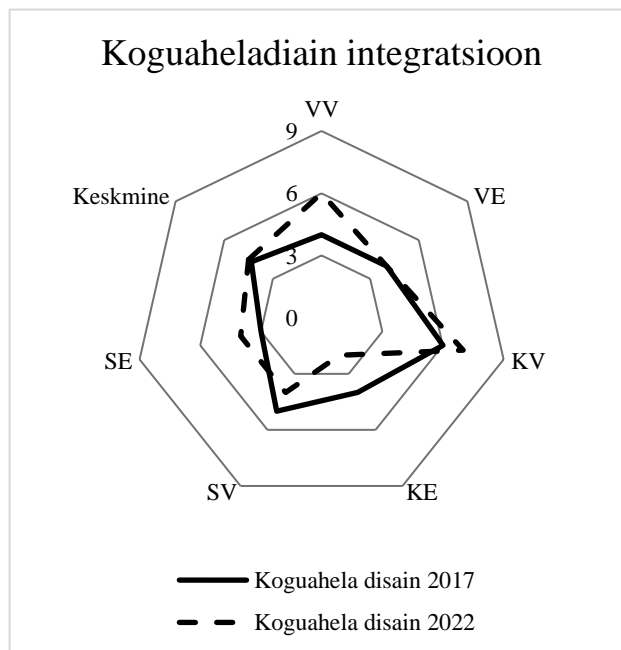
Küsitlustest selgus, et antud temaatika ei ole täna veel aktuaalne ning valdavalt ei pöörata tähelepanu, kas toodete disain toetab komponentide ja toorme tootmise keskkonnasõbralikkust või mitte. Teisisõnu ei teata missugust keskkonnavalast mõju põhjustab toorme ja komponentide tootmine. Samas selgus küsimust lahti seletades, et valdavalt saadakse tarnijatelt soovitud mõõtmetes ja koguses toormaterjal. See tähendab, et materjali raiskamist olemasoleva disaini juures on suhteliselt vähe. Intervjueeritavate sõnul on kasvav trend osta sisse detaile, mida peab minimaalselt töötleva. Samas toodi Eesti ja tema ettevõtete väiksus puuduseks, sest võimalikult täpselt töödeldud detaili sisseostmine tähendab tarnijatele suuremat spetsialiseerumist, mis on arvestades Eesti suurust raskendatud.

Intervjuude põhjal ei ole täna veel ettevõtete fookuses läbi disaini minimeerida materjalide kasutust. Vaid üks ettevõtte kuuest tegeles oma toodete ümberdisainimisega, eesmärgida leida ökonoomsem ja keskkonnasõbralikum ning seeläbi ka odavam disain (VK 2017).

Sweden 2030 tööstuse arendamise programmis on väga palju pööratud rõhku just keskkonnasõbralike, jätkusuutlike ja kergekaaluliste toodete arendamisele. Keskkonnasõbralike, jätkusuutlike ja kergekaaluliste toodete väljatöötamisega püütakse kindlustada tootmissektori jätkusuutlikus – oskus kasutada toodete tootmiseks minimaalselt materjali. (Sweden 2030 2013). Autori arvates antud teguviis mitte ainult ei vähenda toormaterjali defitsiiti vaid tõstab ka säästliku disaini ja tootmise teadmuse omajatel omada konkurentidega võrreldes konkurentsieelist - võimaldades toodete müümist ka kaugematele turgudele. Töö autori arvates tuleks jätkusuutliku disaini valdkonnas kindlasti suurendada ettevõtjate teadlikust, sest vastasel korral muutuvad Eestis toodetud tooted kalliks ja kaotavad oma atraktiivsuse.

Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuses toodetavad detailid on üldjuhul toote eluea lõpus pea täielikult ümbertöödeldavad ning selles valdkonnas on tänane seis hea. Küll aga peaks panema Eesti tootjaid mõtlema, kuidas muuta oma tooted toote eluea lõpus veelgi kergemini ümbertöödeldavaks. *Sweden 2030* programmis on seda mainitud kui tähtsat teemat, sest aja jooksul suureneb üheltpoolt kaupade nõudlus seoses arenevate riikide jõukuse kasvuga ja

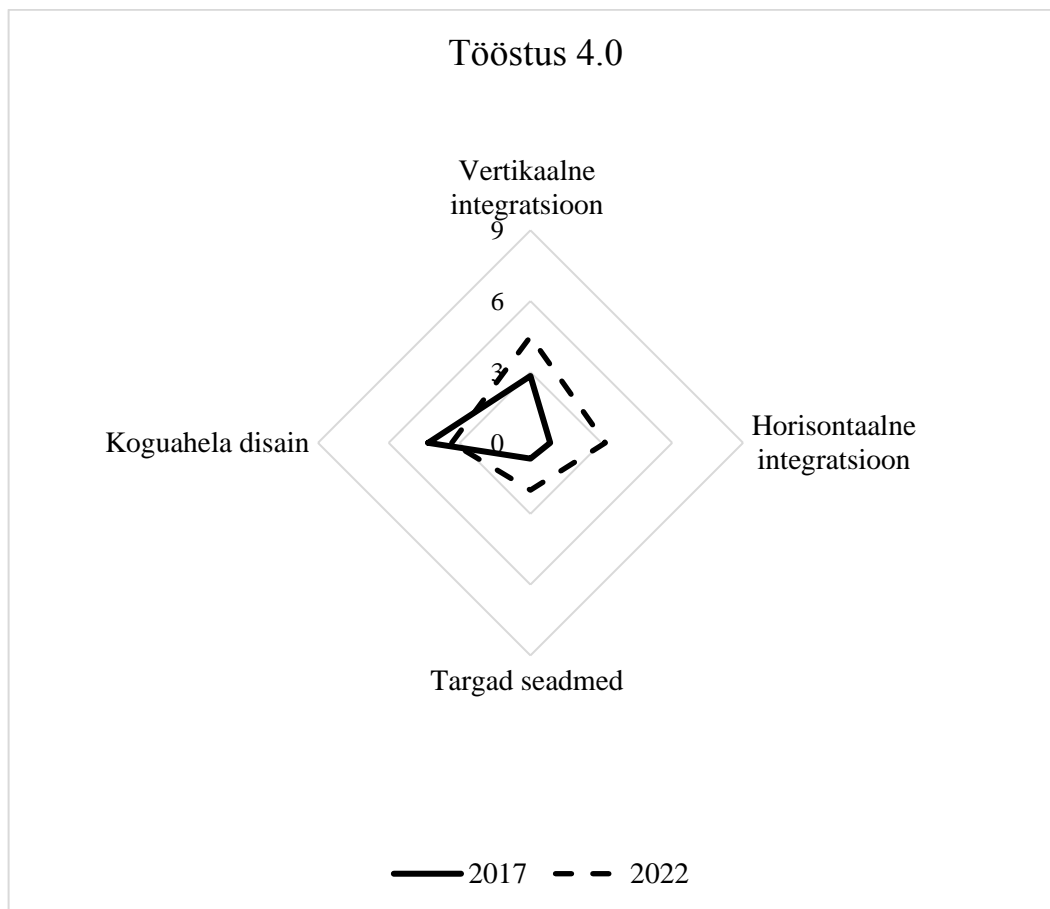
samal ajal väheneb toormaterjali kättesaadavus. Tulevikus on tähtis muuta oma tooted atraktiivseks kaubaks ka peale nende kasutamist ning seega ei tohiks Eesti tootjad antud valdkonda alahinnata. Koguahela disaini tänane seis ja selle muutumine viie aasta perspektiivis on toodud alljärgneval joonisel 21.



Joonis 21. Koguahela disain seis aastal 2017 ja selle areng aastaks 2022. Märkused: VV - väikeettevõtte väliskapitaliga, VE – väikeettevõtte Eesti kapitaliga, KV – keskmise suurusega ettevõtte väliskapitaliga, KE – keskmise suurusega ettevõtte Eesti kapitaliga, SV – suur ettevõtte väliskapitaliga, SE – suur ettevõtte Eesti kapitaliga. Allikas: autori koostatud intervjuude põhjal.

Kokkuvõttes koguahela disain ei ole valdavalt ettevõtete prioriteetide hulgas ja seoses sellega ei ole viie aasta perspektiivis näha antud valdkonna arengut positiivses suunas. Kuid erandina saab välja tuua küsitletud väliskapitaliga ettevõtted, kus emamaa tööstuse arendamise suunad on jõudnud ka Eesti harusse ning antud teema on neis aktuaalne ja saanud tunduvalt rohkem kõnepinda kui küsitletud Eesti kapitaliga ettevõtetes.

Vaadeldes kõiki nelja Tööstus 4.0 karakteristikut koos järeldub, et kõige halvem situatsioon valitseb täna intervjuude põhjal Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuses tarkade masinate kategoorias, mis on graafiliselt kujutatud järgneval joonisel 22.



Joonis 22. Tööstus 4.0 karakteristikute seis aastal 2017 ja selle areng aastaks 2022.
Allikas: autori koostatud intervjuude põhjal.

Samas on positiivne, et ettevõtetes siiski planeeritakse järgneva viie aasta jooksul masinaparki uuendada, asendades osa manuaalseid seadmed automaatsemate vastu. Seevastu koguahela disaini valdavalt ei arendata – see tähendab, et tööstust reformivate Euroopa riikide mõistes liigub Eesti mehhatroonika- ja masinatööstus tagasisuunas. Tööstus 4.0 on süsteem, mis ei saa kunagi valmis, vaid on pidevas arenemises – see tähendab, et paigalseis mingis valdkonnas tähendab tagasiminekut. Vertikaalne ja horisontaalne integratsioon on liikumas viie aasta perspektiivis õiges suunas.

Riigi ja ülikoolide toetus Tööstus 4.0 põhimõtete rakendamisel. Töö autor küsis intervjuueeritavate käest, kuidas saavad riik ja ülikoolid aidata neid Tööstus 4.0 põhimõtete rakendamisel. Intervjuueeritavad leidsid, et kindlasti tuleks suurendada infopäevade hulka, sest tänasel päeval on vähe infot selle kohta, millist abi saab ülikoolidelt ja milliseid

abiprogramme pakub riik (SV 2017, SE 2017). Soovitakse rohkem teavet, kuidas horisontaalne integratsioon saab osutada ettevõtete jaoks kasulikuks, millised on olnud teiste ettevõtete edulood, kuidas on tagatud pilves hoitava informatsiooni turvalisus ning mis kasu saab sellest ettevõtte (SV 2017, SE 2017).

Märkusena toodi välja negatiivsed kogemused minevikust, kus ülikoolidelt ostetud teenus oli olnud kallis, töö oli teostatud ettevõtte arvates kiirustades ja pinnapealselt ning ettevõtte ei saanud oodatud abi (SV 2017). Intervjueeritavate sõnul oodatakse ülikoolidelt professionaalsemat koostööd (VV 2017, KE 2017), samuti sooviti, et ülikoolid võtaksid endale sihiks arendada ja muutuda *know-how* kompetentsikeskusteks sellistes valdkondades, mis toetaksid Eesti ettevõtlust, tänasel tööstusmaastikul – näiteks kergesti õpetatavad, odav moodulrobotika (VK 2017).

VV (2017) oli arvamus, et paranema peaks koostöö ja suhtlus Haridus- ja Teadusministeeriumi ning Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi vahel - riik peaks teadma, millist tööjõudu tulevikus vaja on ja tegema koolituskavad vastavalt sellele. Hetkel ministeeriumid ja ettevõtlus ei astu ühte sammu. Alustama peaks ettevõtete vajaduste kaardistamisest, et tekiks selge arusaam, keda ettevõtjad tegelikult vajavad. Intervjueeritav leidis, et rahaliste vahendite jagamine võiks toimuda erialaliitude kaudu, mis annaks võimaluse suunata arenguid ühtlasemalt ning erialaliidud võiks toimida ka kui nõuandvad keskused. Peeti tähtsaks, et riik oleks näoga ettevõtjate poole, kui ettevõtetel läheb hästi kasvab nende võimekus rohkem investeerida ja viia ellu rohkem Tööstus 4.0-i. (VV 2017).

Intervjuude käigus kogutud andmete põhjal tegi autor Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse ettevõtete SWOT analüüsi, leides selle tänased tugevused, nõrkused, võimalused ja ohud.

Tabel 7. Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse SWOT analüüs

Tugevused: <ul style="list-style-type: none"> • Ettevõtete teadus- ja arendustegevuseks planeeritud raha suhteliselt kõrge osakaal • Automatiseerimise võimaluste teadmine • Automatiseerimisoskuste olemasolu • Tootmise juhtimistarkvara kasutamine ja selle arendamise plaanide olemasolu • Eesti kapitaliga ettevõtete valmidus investeerida tootmise uuendamisse 	Nõrkused: <ul style="list-style-type: none"> • Vähene kõrg-automaatsete tasemega seadmete osakaal • Vähene seadmete omavaheline suhtlemisvõimekus ja nende seotus juhtimistarkvaraga • Vähene horisontaalne integratsioon • Vähene koguaheladisaini kasutamine • Vähene suhtlus: riik-ülikoolid-ettevõtted
Võimalused: <ul style="list-style-type: none"> • „Robotexi põlvkonna“ rakendamine tööstuse arengusse • Eesti IT teadmuse suunamine Eesti tööstuse arendamisse • Ettevõtete vahelise koostöö suurendamine • Riik- ülikool-ettevõtlus sünergia leidmine • Erialaliitude suurem kasutamine ühtlase ja suunatud arengu eesmärgil • Digitaliseerimine • Globaliseerumine 	Hirmud: <ul style="list-style-type: none"> • Horisontaalse integratsiooni ja pilvetechnoloogia võimaluste mittemärkamine • Eesti jääb allhankemaaks ja ei muutu lõpptoodangu tootjaks • Väliskapitaliga ettevõtete raha liigub Eestist välja selmet tootmise uuendamisse • Eestis ei märgata koguahela disaini kasutamise võimalusi

Allikas: autori koostatud

2.4 Soovitused Eesti mehhatroonika- ja masinatööstusele tööstus 4.0 teekaardi loomiseks

Tulenevalt teoreetilisest kirjandusest, Saksa ja Rootsi senistest kogemustest ning mehhatroonika- ja masinatööstuse ettevõtetes läbiviidud intervjuudest esitatakse antud peatükis soovitused Tööstus 4.0 teekaardi loomiseks.

Riivese (2015) järgi on Eesti mehhatroonika- ja masinatööstusel on kaks võimalikku arengusuunda:

- Olla tootmisega, mis on rajatud odavatele ressurssidele. Tootmisega milles on kasutaud odav tööjõud, odavad ressursid, milles on lihtsad tootmisstruktuurid ning kus toodetakse lihtsaid tooted ehk olla tootmisega, milles on väärtustatud tootmisstruktuurid.

- Olles tootmisega, mis on rajatud tehnoloogiatele. Tootmisega, mis võimaldab toota suure lisandväärtusega tooteid, milles on suur paindlikus, mille tehnoloogia on kõrgtehnoloogiline ning milles on hästi arenenud tootmisvõrgustikud ehk olla tootmisega, milles on väärtustatud kompetentsid ja tehnoloogia.

Odavatele ressurssidele rajatud tootmine loob vähem lisandväärtust kui tehnoloogiale tuginev. Tavapäraselt on odavatele ressurssidele rajatud tootmine allhanke või mitte lõpptoodangu tootja. Seevastu tehnoloogiale tuginev tootmisettevõtte toodab üldjuhul lõpptoodet.

Suurem osa Eesti eksportööridest on välisinvestorite omanduses, hoides strateegilised ärifunktsioonid ja/või suuremat lisandväärtust tootvad tegevused oma koduriigis. Lisaks eelnevale konsolideeritakse ka oma kasum väljaspool Eestit. (Pärna, 2016: 10).

Ettevõtetes, milles töö autor intervjuud läbi viis, tegelesid samuti valdavalt allhanke toodangu tootmisega. Nende ettevõtete tooted liiguvad Eestist välja maadesse, kus neist valmistatakse kõrge lisandväärtusega lõpptooted. Allhankemaa staatust ja muud on eriti raske murda väliskapitaliga ettevõtetes, sest nende ettevõtete tähtsamad otsused tehakse väljaspool Eestit. Tõenäoliselt on sellised Eestis asuvad tootmised atraktiivsed vaid ajani, mil Eesti tööjõukulud püsivad võrreldes arenenuma Lääne-Euroopaga madalamal tasemel. Sellest lähtuvalt leiab autor, et jätkusuutlikkuse tagamiseks tuleb teha pööre senini käidud teel ning keskenduda rohkem Eesti kapitaliga ettevõtete arendamisele, eesmärgiga, et sellest kasvaks välja uus põlvkond kõrge lisandväärtusega toodete tootjaid. Samal ajal tuleb muuta Eesti ettevõtlusmaastik atraktiivseks, et välisosaluselise ettevõtte tootmisel oleks oma arendusüksused ja lõpptoodangu tootmise Eestisse.

Analüüsides küsitluse tulemusi ja referentsriikide tööstuse arendamise kavasisid töötas autor välja soovitusel Eesti mehhatroonika- ja masinatööstusettevõtete teekaardi loomiseks.

Soovitus nr. 1. Eesti juhtivad tööstuse arvamusi loovad Eesti tööstuse strateegia ja teekaardi. Eesti president sõnastab riigi visiooni tõsta Eesti tööstus ja riik uuele kõrgtehnoloogilisele tasemele – Põhja-Euroopa lipulaevaks.

Eesti võiks olla selles isegi ambitsioonikam kui Saksamaa ja Rootsi, sest Eestil on hästi arenenud e-riik. Lisaks kõrgel tasemel vertikaalsele ja horisontaalsele integreerimisele, kõrgtehnoloogia ning koguahela disaini rakendamisele peaks Eesti integreerima ka e-riigi tööstuse arendusprogrammi. Seoses Tööstus 4.0 mõiste laiendamisega võiks kogu programm kanda nime E-Riik 5.0 (*E-State 5.0*).

Täna on Tööstus 4.0 arendamine jäetud ettevõtja õlgadele. Samas ei ole Tööstus 4.0 vaid filosoofiline mõiste - see nõuab muutusi haridussüsteemis, seadusandluses, IT turvalisuses, ümberõppeprogrammides jne., seega on äärmiselt oluline, et Tööstus 4.0 arendamine saaks riiklikult toetatud komplektset tuge. Tööstus 4.0 ja e-riigi sümbioosi areng tuleb tõsta Eesti riigi ambitsiooniks ja eesmärgiks. See aitaks hoida tööstuse arendamist fookuses sõltumata valitsevast erakonnast, samuti aitaks see äratada rahvusvahelist tähelepanu, kaasata seeläbi väliseksperte ja tuua tööstuse arendusse lisarahastust.

Soovitus nr.2. Luua spetsiaalsed Tööstus 4.0 tööstusruumi kujundamise töögrupid, millesse kuuluvad ülikoolide, ettevõtete, ministeeriumite ja erialaliitude esindajad.

Soovituslikud töögrupid:

1. IT töögrupp, mille ülesandeks on:

- Töötada välja Tööstus 4.0 IT standardid ja normatiivid.
- Töötada välja küberkaitsesüsteemid ettevõtete teadmuse kaitseks.

2. Teaduse ja arenduse töögrupp. Ülesanded:

- Tuvastada probleemid, mis takistavad ülikoolide ja ettevõtluse vahelist ühist teadus- ja arendustööd ning luua mehhanismid antud probleemi lahendamiseks.
- Selgitada välja probleemid, mis takistavad ülikoolide teadmuse realiseerimist ettevõtluses ja ettevõtete probleemide jõudmist ülikoolidesse ning luua mehhanismid antud probleemide lahendamiseks.

3. Seadusandluse töögrupp. Ülesanne:

- Tuvastada probleemid, mis tekivad Tööstus 4.0 rakendamisega ning teha ettepanekuid õigusruumi muutmiseks.

4. Töö, hariduse ja koolituse töögrupp. Ülesanded:

- Tuvastada tööjõuvajadused Tööstus 4.0 rakendamisel.
- Töötada välja koolitusprogrammid töötajate oskuste ajakohastamiseks Tööstus 4.0 rakendamiseks.
- Lähtudes Tööstus 4.0 vajadustest teha ettepanekuid haridussüsteemi ajakohastamiseks.

Soovitus nr. 3. Viia Tööstus 4.0 õppe kutse-, rakendus- ja kõrghariduse õppekavadesse.

Soovitus nr. 4. Luua tööstus 4.0 kommunikatsioonibüroo, mille ülesanneteks on:

- Viia läbi tööstus 4.0 tutvustavaid seminare.
- Luua Eesti tööstuse 4.0 koduleht.
- Uudis- ja edulugude publitseerimine.

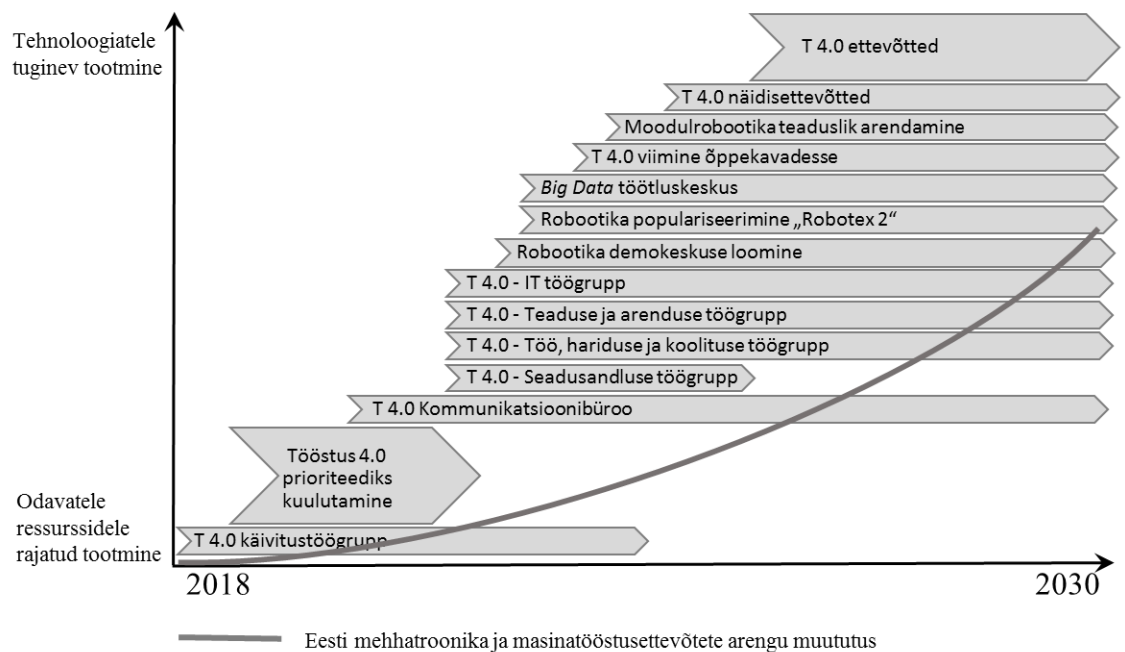
Soovitus nr. 5. Luua Eestisse suurandmete (*Big Data*) töötluskeskused (asukohtadega TTÜ, Tartu Ülikool, IT Kolledž), millest saaksid informatsioonitööstust tellida ettevõtted, kes hoiavad oma andmeid pilvepangas. Seeläbi motiveerida ettevõtteid kasutama pilveteenust. Muuta suurandmete töötlusvõimekus Eesti tööstuse konkurentsieeliseks.

Soovitus nr. 6. Luua robotika demokeskus. Robotika demokeskuse eesmärk oleks integreerida erinevad õppeasutused, tööstusrobotite maaletoojad, inseneribürood, arenduskeskused ja tööstusettevõtted ning seeläbi robotiseerimise lahenduste selgitamine ja juurutamine ettevõtetes (Riives 2017).

Soovitus nr. 7. Autor soovib populariseerida robotikat. Eestis on maailmatasemel robotite võistlus - Robotex. See on väga populaarne ja sellega tegeleb suur hulk noori, kuid seda ei ole ikkagi veel piisavalt, sest enamus neist liigub IT sektorisse ja tööstusele neid ei jätku. Magistritöös käsitletud kergesti õpetatavad, odav moodulrobotika peaks jõudma juba põhikoolide keskastme tööõpetuse tundidesse. Kindlasti oleks tänapäeva noortele põnevust pakkuv juhtida oma nutitelefoniga moodulrobotit. Samuti võiks toimuda rahvusvahelised moodulrobotite võistlused sarnaselt Robotexiga – näiteks moodulrobotite kümnevõistlus, milles robotid lahendaks erinevaid ülesandeid olles ise samal ajal horisontaalselt

integreeritud ja kogumas tarkust teistelt robotitelt ja/või arvutisüsteemidelt. Nii tagataks tööstusele vajaliku põlvkonna pealekasv.

Soovitus nr. 8. Autori arvates tuleb toetada näidis Tööstus 4.0 ettevõtete loomist, mis omaksid tihedaid sidemeid kutse-, rakendus- ja ülikoolidega – eesmärgiga Tööstus 4.0 kogemuste saamine, *know-how* kogumine ja kogemuste jagamine nii õppuritele kui Tööstus 4.0-le üleminevatele ettevõtetele.



Joonis 23. Soovituslik Eesti mehhatroonika- ja masinatööstuse Tööstus 4.0 teekaart
Allikas: (Autori koostatud)

Autor leiab, et Eesti mehhatroonika- ja masinatööstus vajab liikumist odavatele ressurssidele rajatud tootmiselt üle tehnoloogiale rajatud tootmisele, see on üks võimalustest, kuidas Eesti liigub välja allhankemaa staatusest ja tagab oma tööstuse jätkusuutlikkuse. Riiklikult koordineeritud tööstuse arendamine saab tekitada tööstuses kordades kiirema arengu, kui seda annaks üksikute tehase isalgatuslik arendamine. Sünergia tekitamiseks on vajalik samuti infotehnoloogiliste süsteemide ühtsus, nende turvalisuse tagamine ja rohkearvuline tarkade tehaste arv.

KOKKUVÕTE

Tööstus 4.0 rakendamine on ressursi ja teadmiste mahukas protsess, mida ei saa rakendada täpselt ühtviisi kõikides ettevõtetes. Samas saab Tööstus 4.0 rakendamise raamistik olla erinevates ettevõtetes isegi erinevates tööstussektorites sarnane. Tööstus 4.0 raamistiku ja tugisüsteemi loomist on mõistlik teha tsentraliseeritult, see tagab erinevate ettevõtete süsteemide ühilduvuse ning kogu sektori tervikliku arenemise. Iga üksiku mehhatroonika- ja masinatööstuse ettevõtte arenemiskiirus sõltub tulevikus järjest enam kogu tootmissektori arenemise kiirusest. Mida rohkem ettevõtteid on kõrgel tasemel digitaliseeritud, seda lihtsam on luua ettevõtete vahel sünergia. Lisaks tehnoloogilise taseme tõusule on arenguks vajalik varustada mehhatroonika- ja masinatööstus kõrgelt kvalifitseeritud tööjõuga ning muuta see noortele atraktiivseks karjäärivalikuks.

Eesti mehhatroonika- ja masinatööstus tervikuna areneb ja rakendab samm sammult Tööstus 4.0 põhimõtteid. Samas on see areng aeglane ning ei ole läbi viidud koordineeritult. Igas ettevõttes arendatakse tehnoloogiaid ja nende sidususi vastavalt ettevõttes olevatele teadmistele. See viib küll ettevõtteid edasi, kuid see edasimineku on kui vaikne evolutsioon ajal, mil näiteks Saksamaal toimub sama valdkonna revolutsioon. Piltlikult öeldes, meil ehitatakse rongi vaguneid teadmata, kuidas see ühildub ees või järel oleva vaguniga. Ning rongi vagunite ehitajad ei kasuta teiste vagunehitajate kogemusi. Nii jätkates saame vagunid, mis liiguvad erinevate kiirustega ning rongi summaarset kiirust jäävad pidurdama aeglasemad vagunid. Samuti võtab meie rongi koostamine kaua aega, sest vagunid ei ühildu omavahel. Seevastu Saksamaa varustab oma vagunitootjad vagunehitamise standarditega, miinimum kiirusega, koolitab vagunehitajad ning ehitab ka uue raudtee.

Töö esimeses osas selgitatakse, kuidas on toimunud tööstuse areng, kuidas ressursside piiratus, halvenev elu- ja looduskeskkond ning elanikkonna vananemine on meid viinud punkti, kus on mõistlik viia tööstuses läbi tööstusrevolutsioon. Revolutsioon, milles ettevõtetes rakendatakse tööle targad masinad, ettevõtete siseselt ühildatakse tootmist toetavad moodulid – luues sel viisil targad tehased. Antakse ülevaade kuidas targad tehased toodavad jätkusuutlikult tarku tooteid ning milliste tehniliste lahendustega saavad targad

tehased suhelda üksteisega moodustades tervikliku Tööstus 4.0 kontseptsiooni. Esimeses osas kõrvutatakse Saksmaa Tööstus 4.0 (*Industrie 4.0*) kontseptsioon Rootsi tööstuse arendamise programmiga *Sweden 2030*.

Võrdluses selgub, et mõlema riigi tööstuste arendamise programmid kannavad endas sama eesmärgi – olla ka tulevikus riigid, milles on konkurentsivõimeline tööstus. Kuid võrdluses selgub, et antud maades on tööstuse arendamise programmides erisused. Nimelt keskendub *Industrie 4.0* planeeritud tööstustehnoloogia, tööstuse siseseste ja tööstuste vaheliste süsteemide arendamisele, olles selleks loonud spetsiaalsed töögrupid. Seevastu on *Sweden 2030* keskmes jätkusuutliku, targa lõpptoodangu tootmine, jättes eesmärgi saavutamise teekonna kirjeldamise teisejärguliseks. Esimeses osas vaadeldakse Eesti, Rootsi ja Saksamaa rahvastikuprotsesse. Leitakse, et Eestil on Saksmaa elanikkonna muudatustega rohkem sarnaseid jooni kui Rootsigi. Seetõttu arvas autor, et Eesti tööstusel tuleks liikuda sarnasemalt Saksamaa tööstuse arendamise kavaga, kuid seejuures liita sinna juurde Rootsi programmi keskmes olevad jätkusuutlikkuse põhimõtted.

Töö empiirilises osas antakse ülevaade, kuidas läheb Eesti mehhatroonika- ja masinatööstusel töötleva tööstuse taustal. Kuid samuti valitud analüüsi metoodikast, intervjuude ja analüüsides tulemustest. Analüüsides selgus, et mehhatroonika- ja masinatööstuse küll areneb, aga mitte kiires tempos ja mitte eriti jätkusuutlikult. Seetõttu koostatakse Eesti mehhatroonika- ja masinatööstusele soovituslik Tööstus 4.0 teekaart. Teekaardi eduka rakendamise aluseks on Tööstus 4.0 riiklikuks eesmärgiks seadmine. Seejuures eriline sünergia sünniks Tööstus 4.0 ja e-riigi sümbioosi loomisest. See aitaks tõsta nii Eesti riigi tuntust, kui ka anda Eesti tööstusele konkurentsieelised. Samuti on oluline luua koordineeritud Tööstus 4.0 töögrupid, loomaks Tööstus 4.0 toetav keskkond, populariseerida robotikat, kajastada edulugusid ja luua ettevõtetele võimalused õppida üksteise vigadest ja õnnestumistest ning luua tihe koostöövõrgustik ettevõtete ja haridusasutuste vahel.

Järgnevates Tööstus 4.0 mehhatroonika- ja masinatööstuse sektoris rakendamise võimalusi uurivates ja analüüsivates teadustöödes võiks uurida, kui suurt majanduslikku kasu looks tööstuse 4.0 rakendamine vastavas sektoris ja millisel määral see avalduks Eesti SKP-s.

Samuti millise lisandväärtuse annaks Tööstus 4.0 ja e-riigi sümbioos ning mis oleks vaja teha, et see saaks Eesti järgmiseks suureks eesmärgiks. Uurimist vajaks, kas tööstuse küberkaitsesüsteeme ja Tööstus 4.0 platvorme saaks teenusena müüa ka teiste riikide tööstustele ning millised on tööstuste arendusprogrammid Eesti naaberriikides.

Tööstus 4.0 edukaks rakendamiseks on vajalik riigi, ülikoolide ja ettevõtete koostöö ja soov selle kontseptsioon koos ellu viia. Tööstus 4.0 rakendamine annab Eesti riigile, ülikoolidele ja tööstusele positiivse tõuke. Lahendab meie probleemid, mis kaasnevad vananeva ühiskonnaga, säilitades samal ajal hea elu- ja töökeskkonna. Tööstus 4.0 väärrib tähelepanu, sest selle edukas rakendamine annab Eesti riigile märkimisväärse eduloo.

Töö autor tänab kõiki, kes aitasid kaasa antud magistr töö valmimisele. Erilised tänud juhendajatele ja küsitluses osalejatele.

VIIDATUD ALLIKAD

1. **Aarna, O.** Tulevikuvaade tööjõu ja oskuste vajadusele: metalli- ja masinatööstuses. SA Kutsekoda, 2016
[kutsekoda.ee/fw/fb/10619707]. 14.04.17
2. **Davenport, T. H., Harris, J. H.** Competing on Analytics: The new Science of Winning – Harvard Business School Press, 2007, pp. 224
3. **Davies, A., Fidler, D., Gorbis, M.** Future Work Skills 2020, Institute for the Future for the University of Phoenix Research Institute, 2011
[http://www.iftf.org/uploads/media/SR-1382A_UPRI_future_work_skills_sm.pdf]. 30.04.17
4. **Curran, C., Garrett, D., Puthiyamadam, T.** 2017 A decade of digitaal Keeping pace with transformation, 2017
[https://www.pwc.com/us/en/advisory-services/digital-iq/assets/pwc-digital-iq-report.pdf]. 12.05.17
5. Eesti ettevõtlike kasvustrateegia 2014-2020, Majandus ja Kommunikatsiooniministeerium, 2013
[http://kasvustrateegia.mkm.ee/].
6. Eesti Majanduse tegevusalade klassifikaator EMTAK 2008, e-äriregister, Registrate ja Infosüsteemide keskus.
[http://www.rik.ee/sites/www.rik.ee/files/elfinder/article_files/EMTAK%202008%20EST%20-%20selgitavate%20m%C3%A4rkustega.pdf]. 02.18.17
7. Eesti Statistika Aastaraamat 2016. Toimetaja: Kairit Põder, Kirjastanud Statistikaamet, Tallinn, 2016
8. Eurostati andmebaas
[http://ec.europa.eu/eurostat/]
9. Factories of the Future - Multi-annual roadmap for the contractual PPP under Horizon 2020, Effra, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2013: 61
DOI: 10.2777/29815
10. **Ford, M.** Industry 4.0: Who Benefits? - SMT Magazine, The Essential Pioneer's Survival Guide, July, 2015
[http://content.ebscohost.com/ContentServer.asp?T=P&P=AN&K=103662618&S=R&D=bth&EbscoContent=dGJyMNLe80SeprQ4v%2BbwOLCmr0%2Bep7JSsK%2B4S6%2BWxWXS&ContentCustomer=dGJyMPfi54Pt5epT69fnhrnb4osA].
11. **Fraden, J.** Handbook of Modern sensors: Physics, Design, and Application. Springer Science + Business Media, 2010, pp. 608.

<http://www.kelm.ftn.uns.ac.rs/literatura/si/pdf/HandbookOfModernSensorsPhysicsDesignAndApplications.pdf>

12. **Frazzona, E. M., Hartmannb, J., Makuschewitzb T., Scholz-Reiterc, B.** Towards Socio-Cyber-Physical Systems in Production Networks - Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems, 2013, pp. 53
[<https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.009>]
13. **Gupta, P., Seetharaman, A., Raj, J. R.** The usage and adoption of cloud computing by small and meedium businesses - International Journal of Information Management 33, 2013, pp. 861– 874
[DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2013.07.001]
14. **Hannson, A.** Eesti ja Euroala majandusest, Eesti Panga Presidendi Ardo Hanseni ettekanne Eesti Majandusteaduse Seltsi Aastakonverentsil, 2016.
[<https://www.eestipank.ee/press/ardo-hansson-eesti-ja-euroala-majandusest-28012016>]. 02.18.17
15. **Holdowsky, J., Mahto, M., Raynor, M. E., Cotteleer, M.** Inside the Internet of Things (IoT) – A primer on the Technologies building the IoT Deloitte University Press, 21.08.15. [<https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/internet-of-things/iot-primer-iot-technologies-applications.html>]. 17.01.17
16. **Kangru, T.** Overview of the survey of robotics among Estonian manufactures, TTU, Autori omanduses olev presentatsioon, 2017.
17. **Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J.** Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group – Acatech, National Academy of science and engineering, Frankfurt, 2013, pp. 13-14.
[http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf]. 15.01.17
18. KE (ettevõtte omanik ja tegevjuht). Autori intervjuu Eesti kapitaliga keskmise suurusega masinatööstuse ettevõttes. Üleskirjutis. Tallinn 23.03.17
19. **Koch, W., Geissbauer, R.** Industry 4.0 Opportunities and challanges of the industrial Internet - PWC, 2014
[<https://www.pwc.nl/en/assets/documents/pwc-industrie-4-0.pdf>]. 02.18.17
20. KV (ettevõtte arendusjuht). Autori intervjuu väliskapitaliga, keskmise suurusega masinatööstuse ettevõttes. Üleskirjutis. Pärnumaa 24.03.17
21. **Lee, J., Bagheri, B., Kao, H-A.** A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems – Manufacturing Letters, Vol 3, 2015, pp 18–23
DOI: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001.

22. **Lineback, R.** Sensor Sales Keep Hitting New Records But Price Erosion Curbs Growth - IC Insights Inc. Research Bulletin, 2016 BULLETIN, JULY 21, 2016, [<http://www.icinsights.com/data/articles/documents/895.pdf>]. 02.02.17
23. Made in Sweden 2030 - Strategic Agenda for Innovation in Production, 2013 [<http://www.vinnova.se/PageFiles/750915348/Made%20in%20Sweden%202030-eng.pdf>]. 18.01.17
24. **Manyika, J., Lund, S., Bughin, J., Woetzel, J., Stamenov, K., Dhingra, D.** Digital globalization: The new era of Global Flows - McKinsey Global Institute, 2016 [<http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/digital-globalization-the-new-era-of-global-flows>]. 30.04.17
25. **Paas, K., Saarmann, T.** ÄRILEHE TABEL: miks eestlased teenivad tunnis viis korda vähem kui taanlased ja seitse korda vähem kui norralased – Ärileht.ee, 05.09.2015 [<http://arileht.delfi.ee/news/uudised/arilehe-tabel-miks-eestlased-teenivad-tunnis-viis-korda-vahem-kui-taanlased-ja-seitse-korda-vahem-kui-norralased?id=72371591>]. 09.05.17
26. **Parviainen, P., Tihinen, M., Kääriäinen, J., Teppola, S.** Tackling the digitalization challenge: how to benefit from digitalization in practice – International Journal of Information Systems and Project Management, Vol 05, Iss 01, 2017, Pp 66-77 [DOI:10.12821/ijispm050104]
27. **Pärna, O.** Töö ja oskused 2025, Sihtasutus Kutsekoda, K-Print, Tallinn, 2016, lk 10.
28. Raamatupidamisseadus, Vastu võetud Riigikogus 20. novembril 2002. a. – Riigiteataja I osa, 2002 nr. 102, art. 600.
29. **Riives, J.** (Innovatiivsete Masinaehituslike Tootmissüsteemide Tehnoloogia Arenduskeskuse IMECC OÜ juhatuse esimees ja uurimiskava juht). Autori intervjuu. Üleskirjutis. Tallinn 11.04.17
30. **Riives, J.** Jätkusuutlik ja konkurentsivõimeline tootmine. Autori omanduses olev presentatsioon (2015)
31. **Riives, J.** Tootmise digitaliseerimine Perspektiivid aastani 2030, Lõppkasutaja ja Tööstus 4.0 (I 4.0) - Tööstusakadeemia, 2016
32. SE – (arendusjuht). Autori intervjuu Eesti kapitaliga masinatööstus ettevõttes. Üleskirjutis. Harjumaa, 22.03.17
33. **Schlaepfer, R. C., Koch, M.** Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential Technologies. Deloitte.

[<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>]. 15.01.17

34. **Schlick, J., Stephan, P., Zühkle, D.** IM Schwerpunkt, INDUSTRIE 4.0, Produktion 2020, Auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. IM : die Fachzeitschrift für Information Management und Consulting - Saarbrücken : Vol. 27.2012, 3, pp. 31
35. **Sethi, P., Sarangi, S. R.** Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications – Journal of Electrical and Computer Engineering, 2017
DOI: 10.1155/2017/9324035.
36. **Stock, T., Seliger, G.** Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0 - ScienceDirect, Procedia CIRP 40, Berlin, 2016 pp. 537-538.
[<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>]
37. Statistikaameti andmebaas
[<http://www.stat.ee/>] 02.02.17
38. SV (arendusjuht). Autori intervjuu Eesti kapitaliga masinatööstus ettevõttes. Üleskirjutis. Harjumaa 17.03.17
39. **Tunzelmann, G. N.** Technology and Industrial Progress. The Foundations of Economic growth. Edgar Elgar, 1997
40. VE (ettevõtte tegevjuht). Autori intervjuu Eesti kapitaliga, väikese suurusega masinatööstuse ettevõttes. Üleskirjutis. Tallinn 07.03.17
41. VV (ettevõtte arendusjuht). Autori intervjuu väliskapitaliga, väikese suurusega masinatööstuse ettevõttes. Üleskirjutis. Raplamaa 17.03.17
42. **Wang, S., Wan, J., Li, D., Zhang, C.** Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook - International Journal of Distributed Sensor Networks, Volume 2016, pp 3
[<http://dx.doi.org/10.1155/2016/3159805>]
43. **Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., Zhang, C.** Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination - Computer Networks. Volume 101, 4 June 2016, pp. 159.
DOI: 10.1016/j.comnet.2015.12.017

LISAD

Küsimustik

Vertikaalne integratsioon

1. Kui suures ulatuses seob tootmise juhtimise tarkvara Teie ettevõttes eritasandid (näiteks, planeerimine, ost, tootmine, müük, sisemine- ja välimine logistika)?
 - a) ettevõttes puudub tootmise juhtimise tarkvara
 - b) vähesel määral
 - c) üle poole võimaliku
 - d) 100%
2. Kuidas on muutunud tootmise juhtimise tarkvara kasutamine Teie ettevõttes 5 aasta pärast võrreldes tänasega?
 - a) ettevõttes puudub jätkuvalt tootmise juhtimise tarkvara
 - b) toimunud vähene paranemine
 - c) toimunud mõõdukas paranemine
 - d) toimunud märkimisväärne paranemine
3. Kui suur hulk tootmiseseadmeid on ühendatud tootmise juhtimise tarkvarasse viisil, mis näitab minimaalselt nende hetke staatust, efektiivsust, koormatust?
 - a) mitte ühtegi
 - b) on, aga vähesel määral
 - c) üle poolte tootmiseseadmete
 - d) 100%
4. Kui suur hulk tootmiseseadmeid on ühendatud tootmise juhtimise tarkvarasse viisil, mis näitab minimaalselt nende hetke staatust, efektiivsust, koormatust 5 aasta pärast võrreldes tänasega?
 - a) olukord ei ole muutunud
 - b) vähene paranemine
 - c) keskmine paranemine
 - d) märkimisväärne paranemine
5. Kes või mis juhib Teie ettevõttes tootmiseseadmeid, tootmisprotsesse ja tugiprotsesse?
 - a) ainult inimesed
 - b) pigem inimesed kui IT ja arvutisüsteemid
 - c) pigem IT ja arvutisüsteemid kui inimesed
 - d) IT ja arvutisüsteemid
6. Kes või mis juhib Teie ettevõttes tootmiseseadmeid, tootmisprotsesse ja tugiprotsesse 5 aastapärast?
 - a) kindlasti inimesed
 - b) pigem inimesed kui IT ja arvutisüsteemid
 - c) pigem IT ja arvutisüsteemid kui inimesed
 - d) IT ja arvutisüsteemid
7. Kas Te plaanite suurendada tootmisest tootmisandmete korjamise hulka järgneva 5 aasta jooksul?
 - a) ei
 - b) vähesel määral

- c) olulisel määral
- d) jah suurel määral
- 8. Kuivõrd on Teie ettevõttes rahalisi vahendeid, et tõsta ettevõtte sisemist seadmete ja juhtimistarkvara integreerituse taset?
 - a) rahalised vahendid puuduvad
 - b) vähesel määral
 - c) olulisel määral
 - d) jah
- 9. Kuivõrd on Teie ettevõttes teadmisi, et tõsta seadmete ja juhtimistarkvara integreerituse taset?
 - a) teadmised puuduvad
 - b) vähesel määral
 - c) olulisel määral
 - d) jah
- 10. Kas Teil on ettevõttes mingi muu piirav takistus, mis ei võimalda Teil tõsta seadmete ja juhtimise integreerituse taset?
 - a) ei
 - b) jah
 Kui jah, siis milline?

Kui ei, ja kui Te ei plaani tõsta seadmete ja juhtimistarkvara integreerituse taset, siis miks?
- 11. Kas Te ootate seadmete ja juhtimistarkvara suuremas integreerimises ja kasutusele võtmises abi haridussüsteemilt ja/või ülikoolidelt?
 - a) ei
 - b) jah
 Kui "jah", siis millist?
- 12. Kas Te ootate seadmete, juhtimistarkvara suuremas integreerimises ja kasutusele võtmises abi riigilt?
 - a) ei
 - b) jah
 Kui "jah", siis millist?

Horisontaalne integratsioon

- 13. Kui suur osakaal Teie poolt kasutatud toorme, komponentide ja tugiteenuste tellimisprotsessist toimub automaatselt spetsiaalse tarkvara abil?
 - a) tellimisprotsesse teostavad ettevõtte töötajad
 - b) vähesel määral
 - c) üle poolte
 - d) 100%
- 14. Kuidas on muutunud Teie poolt kasutatud toorme, komponentide ja tugiteenuste tellimisprotsessist toimub automaatselt spetsiaalse tarkvara abil 5 aasta pärast võrreldes tänasega?
 - a) tellimisprotsesse teostavad jätkuvalt vaid ettevõtte töötajad
 - b) vähene paranemine
 - c) keskmine paranemine
 - d) märkimisväärne paranemine

15. Kas kasutate oma toodete ja protsesside parendamiseks toodete müügi järgset *online* jälgimist või seisundi kontrollimist?
- a) ei
 - b) vähesel määral
 - c) üle poole toodangu puhul
 - d) 100%
16. Kui suures osas kasutate oma toodete ja protsesside parendamiseks toodete müügi järgset *online* jälgimist või seisundi kontrollimist 5. aasta pärast?
- a) ei kasuta üldse
 - b) enamasti ei kasuta
 - c) enamasti kasutame
 - d) kasutame 100%-l toodetel
17. Kas kasutate ettevõtte väliseid nutilahendusi ja koostööpartnerite arvutisüsteeme oma ettevõtte tegevuste toetamiseks?
- a) ei
 - b) vähesel määral
 - c) olulisel määral
 - d) jah suurel määral
18. Kas Teil on kavas hakata 5. aasta jooksul kasutama ettevõtte väliseid nutilahendusi ja koostööpartnerite arvutisüsteemide integreerimist oma ettevõtte tegevuse toetamiseks?
- a) ei
 - b) vähesel määral
 - c) olulisel määral
 - d) jah suurel määral
19. Kas Te plaanite järgneva 5. aasta jooksul tootmisandmete kogumise korjet pilvepanka, eesmärgiga arendada tulevikus oma tootmise tõhusust?
- a) ei
 - b) vähesel määral
 - c) olulisel määral
 - d) jah suurel määral
20. Kas Teil on ettevõttes piisavalt rahalisi vahendeid, et tõsta ettevõtte sidumise suurendamist väliskeskkonnaga?
- a) ei
 - b) on, aga vähesel määral
 - c) on olulisel määral
 - d) jah piisavalt
21. Kas Teil on ettevõttes piisavalt teadmisi, et tõsta ettevõtte sidumist väliskeskkonnaga?
- a) ei
 - b) on, aga vähesel määral
 - c) on olulisel määral
 - d) jah piisavalt
22. Kas Teil on ettevõttes mingi muu piirav takistus, mis ei võimalda Teil tõsta ettevõtte sidumist väliskeskkonnaga?
- a) ei
 - b) kui „jah“, siis milline?

Kui ei, ja kui Te ei plaani tõsta ettevõtte sidumist rohkemal määral väliskeskkonnaga, siis miks?

23. Kas Te ootate ettevõtte suuremaks väliskeskkonnaga sidumiseks abi haridussüsteemilt ja/või ülikoolidelt?

a) ei

b) jah

Kui "jah", siis millist?

24. Kas Te ootate ettevõtte suuremaks väliskeskkonnaga sidumiseks abi riigilt?

a) ei

b) jah

kui "jah", siis millist

Targad seadmed

25. Kui suur osa Teie seadmetest on kõrg-automaatsel tasemel (inimtööjõu vajadus vaid tööprotsessi jälgimiseks)?

a) kõrg-automaatsed seadmed puuduvad

b) on, aga seadmete hulk ei ole märkimisväärne

c) üle poole seadmetest

d) 100%

26. Millisel määral on muutunud Teie kõrg-automaatsete seadmete olukord 5 aasta pärast võrreldes tänasega?

a) ei ole muutunud

b) vähene paranemine

c) oluline paranemine

d) märkimisväärne paranemine

27. Kui suur osa Teie tootmiseseadmetest on kaugjuhitavad (st, seadistavad ja opereeritavad kaugjuhtimise teel)?

a) kaugjuhitavad seadmed puuduvad

b) on, aga kaugjuhitavate seadmete hulk ei ole märkimisväärne

c) üle poolte seadmetest

d) 100%

28. Kuidas on muutunud Teie tootmiseseadmete kaugjuhitavus 5 aasta pärast võrreldes tänasega?

a) muutusi ei ole

b) vähene paranemine

c) oluline paranemine

d) märkimisväärne paranemine

29. Kui suur hulk Teie tootmiseseadmetest on võimelised „suhtlema“ teiste tootmiseseadmetega?

a) „suhtlemisvõimelised“ seadmed puuduvad

b) on, aga selliste seadmete osakaal ei ole märkimisväärne

c) üle poolte seadmete

d) 100%

30. Millisel määral on Teie tootmiseseadmete „suhtlemisvõimelisus“ teiste tootmiseseadmetega muutunud 5. aasta pärast võrreldes tänasega?

a) muutusi ei ole

- b) vähene paranemine
 - c) oluline paranemine
 - d) märkimisväärne paranemine
31. Kas Teil on plaanis järgneva 5. aasta jooksul lisada oma tootmisseadmetele lisasensoreid, muutmaks tootmisprotsessi paremini jälgitavaks?
- a) ei
 - b) vähesel määral
 - c) olulisel määral
 - d) jah suurel määral
32. Kas Teil on ettevõttes piisavalt rahalisi vahendeid, tõstmaks seadmete automatiseerituse taset?
- a) ei ole
 - b) on, aga vähesel määral
 - c) jah, olulisel määral
 - d) jah piisavalt
33. Kas Teil on ettevõttes piisavalt teadmisi, tõstmaks seadmete automatiseerituse taset?
- a) ei
 - b) on, aga vähesel määral
 - c) jah, olulisel määral
 - d) jah piisavalt
34. Kas Teil on ettevõttes mingi muu piirav takistus, mis ei võimalda Teil tõsta seadmete automatiseerituse taset?
- a) jah
- Kui „jah“, siis milline?
- b) ei
- Kui ei, ja kui Te ei plaani tõsta seadmete automatiseerituse taset, siis miks?
35. Kas Te ootate seadmete automatiseerituse taseme tõstmiseks abi haridussüsteemilt ja, või ülikoolidelt?
- a) ei
 - b) jah
- Kui "jah", siis millist?
36. Kas Te ootate seadmete automatiseerituse taseme tõstmiseks abi riigilt?
- a) ei
 - b) jah
- Kui "jah", siis millist?
- Koguahela disain.
37. Kui suur hulk Teie disainist on tehtud viisil, mis arvestab ka Teie toorme ja komponentide tootmise keskkonnasõbralikkust?
- a) 0 – 1/3
 - b) 1/3
 - c) 2/3
 - d) 100%
38. Kas Teie toodete disain on 5. aasta pärast tehtud viisil, mis arvestab ka Teie toorme ja komponentide tootmise keskkonna sõbralikkust?
- a) muutusi ei ole

- b) vähesel määral
 - c) olulisel määral
 - d) jah suurel määral
39. Kui suur hulk Teie toodete disainist on tehtud viisil, mis avaldab keskkonnale minimaalselt mõju? Näiteks korduvkasutatud-, keskkonnasõbralikud materjalid.
- a) 0 – 1/3
 - b) 1/3
 - c) 2/3
 - d) 100%
40. Milline muutus on toimunud Teie toodete disainis 5. aasta pärast – kas see on tehtud viisil, mis avaldab keskkonnale minimaalselt mõju? Näiteks korduvkasutatud-, keskkonnasõbralikud materjalid.
- a) muudatusi ei ole
 - b) vähesel määral
 - c) olulisel määral
 - d) jah suurel määral
41. Millises ulatuses on Teie toodang toote eluealõpus ümbertöödeldav?
- a) 0 – 1/3
 - b) 1/3
 - c) 2/3
 - d) 100%
42. Kas Te tegelete sellega, et 5. aasta pärast oleks Teie tooted eluealõpus kergemini ümbertöödeldav võrreldes tänasega?
- a) ei
 - b) vähesel määral
 - c) keskmisel määral
 - d) suurel määral
43. Kas Teil on ettevõttes piisavalt rahalisi vahendeid, muutmaks oma toodete disaini keskkonna sõbralikumaks?
- a) ei ole
 - b) on, aga vähesel määral
 - c) jah, olulisel määral
 - d) jah piisvalt
44. Kas Teil on ettevõttes piisavalt teadmisi, muutmaks oma toodete disaini veelgi keskkonna sõbralikumaks?
- a) ei
 - b) on, aga vähesel määral
 - c) jah, olulisel määral
 - d) jah piisavalt
45. Kas Teil on ettevõttes mingi muu piirav takistus, mis ei võimalda Teil tõsta toodete keskkonnasõbralikkuse taset?
- a) ei
 - b) kui „jah“, siis milline?
- Kui ei, ja kui Te ei plaani tõsta toodete keskkonna sõbralikkuse taset, siis miks?

46. Kas Te ootate toodete keskkonnasõbralikkumaks muutmiseks abi haridussüsteemilt ja, või ülikoolidelt?

a) ei

b) jah

Kui "jah", siis millist?

47. Kas Te ootate toodete keskkonnasõbralikkumaks muutmiseks abi riigilt?

a) ei

b) jah

Kui "jah", siis millist?

Ettevõtte sisene teadus ja arendustöö

48. Kui suure osa oma käibest plaanite kulutada järgneva 5 aasta jooksul oma toodete ja teenuste arendustöödeks?

a) 0 - 1%

b) 1 - 2%

c) 2 - 5%

d) üle 5%

Teave Tööstus 4.0 kohta

49. Milles seisneb Teie arvates Tööstus 4.0 olemus? Palun kirjeldage.

50. Millisel määral olete oma ettevõttes rakendanud Tööstus 4.0? Palun kirjeldage.

a) ei ole rakendanud

b) oleme rakendanud vähesel määral

c) oleme rakendanud olulisel määral

d) oleme rakendanud suures ulatuses

51. Kirjeldage oma Tööstus 4.0 edulugu? (kui on)

Tabel 8. Intervjuude vastused

Küsimuse nr.	Väike väliskapitaliga	Väike Eesti kapitaliga	Keskmine väliskapitaliga	Keskmine Eesti kapitaliga	Suur väliskapitaliga	Suur Eesti kapitaliga
1	d	b	d	a	c	c
2	d	c	d	b	c	c
3	a	a	b	a	a	a
4	b	b	c	b	b	b
5	b	b	b	a	b	b
6	c	b	c	a	b	b
7	b	b	d	b	b	b
8	b	b	c	b	c	d
9	d	b	d	b	c	c
10	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
11	Ei	Jah: pädevat tööjõudu	Jah: ülikool võiks muutuda odavamate lihtsalt kohandatavate robotite tarkuse edasiarendajaks / koolitajaks kokku panna nõ tööriista kasti	Jah: eestikeelse tootmise juhtimise tarkvara arendamist	Jah: professionaalsemat koostööd	Jah: erinevate koostöövõimaluste teavet
12	Ei	Jah: riiklike toetusi	Ei	Ei	Jah: teavet, mis kasu annab integreerimise suurendamine ettevõtte jaoks	Jah: erinevate koostöövõimaluste teavet
13	a	a	b	a	a	a
14	b	a	c	b	a	b
15	a	a	a	a	d	a

16	c	a	a	b	d	b
17	a	a	b	a	a	a
18	b	b	c	b	b	b
19	d	a	d	a	a	a
20	b	b	c	b	c	d
21	d	b	d	b	c	c
22	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
23	Ei	Ei	Ei	Ei	Jah: professionaalsemat koostööd	Jah: erinevate koostöövõimaluste teavet
24	Jah: stabiilset majanduskeskkonda, et oleks kindlus investeerida	Jah: investeerimis-toetusi	Ei	Jah: teavet, kuidas on tagatud andmete turvalisus	Jah: teavet milline kasu tekib ettevõtte jaoks kui väliskeskkonnaga on suurem sidusus	Jah: erinevate koostöövõimaluste teavet
25	b	a	b	a	b	a
26	b	a	c	a	c	b
27	b	a	a	a	a	a
28	b	b	b	b	b	b
29	a	a	a	a	a	a
30	a	a	a	a	a	a
31	b	b	d	a	b	b
32	b	b	c	b	c	d
33	d	c	d	b	d	c
34	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei

35	Ei	Ei	Jah: soov, et ülikool muutuks robotiteaduse edasiarendajaks. Robotexi põlvkond tuleks panna ehitama moodul roboteid tootmisettevõtete jaoks		Professionaalsemat koostööd	Erinevate koostöövõimaluste teavet
36	Jah: suuremat koostööd ettevõtjatega	Ei	Ei	Jah: riik peaks toetama, mingi konkreetse tootmisharu arendamist. Tõstes antud haru kõrgele tasemele, see tõstaks ka ülejäänud tootmisettevõtte tasemeid.	Jah: riiklike toetusi	Jah: erinevate koostöövõimaluste teavet
37	a	a	b	a	b	a
38	a	b	c	a	b	b
39	b	b	c	b	b	b
40	b	b	c	b	c	b
41	d	d	d	d	d	c
42	b	b	c	a	c	b
43	a	a	b	a	a	a
44	b	b	c	b	c	d
45	Ei (ei ole prioriteet)	Ei	Ei	Ei (ei ole prioriteet)	Ei	Ei (ei ole prioriteet)
46	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei

47	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
48	c	b	b	b	b	b
49	Tarkade seadmete kasutusele võtmine, hea juhtimistarkvara, andmete pilves hoidmine, väliste andmete kasutamine ettevõtte arendamiseks.	Pigem tootmisfilosoofia suurematele ettevõtetele	Juhtimistarkvara, <i>Big Data</i> , nutisüsteemide, kergesti kohandatavate seadmete suuremamahuline rakendamine	Tootmise arendamise programm, kuid pigem ettevõtetele kellel on mingilgi määral seeriatootmine	Tarkade seadmete kasutusele võtmine	Robotite suurem kasutusele võtmine. Toodete tootmisjärgne jälgimine. <i>Big Data</i> kasutamine.
50	Juhtimistarkvara laiapõhjaline kasutamine. Roboti kasutusele võtmine.	Ei ole veel rakendanud	Toomisseadmete efektiivsuse jälgimine. Andmete edastamine otse tööpinkidele. Andmete analüüs. Automaatne tellimussüsteem	Ei ole veel rakendanud	Juhtimistarkvara rakendamine	Juhtimistarkvara kasutusele võtmine
51	Inimeste arvu mõningane vähendamine. Ühtlasem kvaliteet	-	Tootmistulemuste paranemine. Targememad otsused. Infoliikumise kiiruse tõus	-	Kiirem info liikumine	-

Allikas: autori koostatud, intervjuude põhjal

SUMMARY

CREATING AN INDICATIVE INDUSTRY 4.0 ROADMAP FOR ESTONIAN MECHATRONICS AND MACHINE INDUSTRY COMPANIES

Andres Tamm

Across Europe, ways are being sought to make the machine industry more competitive. The focus is on the machine industry as one that brings high added value and employs a significant portion of the European workforce. Solutions are being pursued that would make use of all modern technological opportunities, consider demographic processes and ensure the sustainability of the sector. The mechatronics and machine industry is also an important sector for Estonia.

At the same time, finding the necessary workforce in this sector is difficult, as working in the mechatronics and machine industry is unattractive. Additionally, long-term trends in the Estonian labour market are seeing a decrease in employment, an increase in the lack of workers and quickly rising wages (Statistics Estonia 2017). The Estonian population is ageing and the number of dependents compared to workers is increasing every year (Eurostat 2017).

The same problems are evident in most European countries. Larger industrialized countries have begun long-term industry development programs. These programs are seen as a way to give the country a competitive advantage in industrial production. Estonian industries, including the mechatronics and machine industry, are also in need of an industry development roadmap to remain competitive. Therefore, the aim of this master's thesis has been driven by new opportunities and the problems of the Estonian mechatronics and machine industry. The aim of the paper is the following: To offer guidelines for the creation of an Industry 4.0 roadmap for the Estonian mechatronics and machine industry, based on

the analysis of industry development programs implemented in industrialized European countries.

The thesis undertakes the following tasks:

- To analyze the industry development programs implemented in industrialized European countries;
- To find out what causes of industry changes;
- To analyze Industry 4.0 technical support systems;
- To analyze the situation of the Estonian mechatronics and machine industry against the backdrop of the manufacturing industry;
- To analyze the current status, future plans and problems of implementing Industry 4.0 principles in mechatronics and machine industry companies, based on their size and the country of origin of their capital.

The first part of the thesis explains how industry has developed and how limited resources, a deteriorating living and natural environment, and an ageing population have led us to the point where an industrial revolution is due. This revolution would entail the deployment of smart machines and the integration of modules that support production within companies, thereby creating smart factories. The paper goes on to explore how smart factories sustainably manufacture smart products and which technical solutions allow smart factories to communicate with each other – completing the concept of Industry 4.0. The technical foundation that supports new industry development programs is examined.

The first part of the thesis also compares Germany's Industry 4.0 (Industrie 4.0) concept with Sweden's industry development program – Sweden 2030. The comparison shows that industry development programs of both countries share the same goal – to ensure the continued industrial competitiveness of their respective countries. The comparison also points out the differences between these industrial development programs. The focus of Industrie 4.0 is on the development of planned industrial technologies and industry-internal as well as cross-industry systems. To achieve these goals, Germany has also founded special working groups. The focus of Sweden 2030, on the other hand, is on the creation of

sustainable, smart final products, while departing from the description of the path towards achieving that goal.

The demographic processes of Estonia, Sweden and Germany are then explored, from which it is concluded that the demographic changes in Estonia are more similar to those of Germany than of Sweden; As a result, the author finds that Estonian industry should take a similar path to that of Germany's industry development program, while also implementing the principles of sustainability at the center of Sweden's program.

The empirical part of the paper gives an overview of the situation in the Estonian mechatronics and machine industry and its trends against the backdrop of the manufacturing industry, the chosen methods of analysis, as well as the sample and results of the survey and interviews. Based on surveys and analyses, the development opportunities of the Estonian mechatronics and machine industry are identified and an indicative Industry 4.0 implementation roadmap for the sector is developed. The roadmap delineates the crucial steps that the author believes would lead the Estonian mechatronics and machine industry to the level of Industry 4.0. The roadmap is presented as a simplified graph that depicts the most important activities over time. The successful implementation of the roadmap calls for setting Industry 4.0 as a national goal. Thereupon, a special synergy could be achieved through creating a symbiosis between Industry 4.0 and e-government systems. This would both improve the recognition of Estonia and give Estonian industry various competitive advantages. It is also important to establish coordinated Industry 4.0 working groups in order to create a support environment for Industry 4.0, popularize robotics, publish success stories, create opportunities for companies to learn from each other's failures and successes, and create a tight-knit cooperation network between companies and educational establishments.

The author of the master's thesis admits that implementing Industry 4.0 is a resource and knowledge intensive process that cannot follow the exact same course in all companies. However, the Industry 4.0 implementation framework can even be similar for companies in different industries. The Industry 4.0 framework and support system would be prudent to create centrally, as this would guarantee the compatibility of the systems of different companies and the joint development of the whole sector. In the future, the speed of development of every single mechatronics and machine industry company will depend more and more on the speed of development of the whole production sector. The more companies

are highly digitalized, the easier it will be to create a synergy between them. In addition to improving technological levels, such development also requires supplying the mechatronics and machine industry with highly qualified workers and making the field an attractive career choice for young people. The successful implementation of Industry 4.0 requires cooperation between the state, universities and companies as well as a desire to make it a reality together. Implementing Industry 4.0 would give the Estonian state, universities and industry a positive boost. It would solve Estonia's problems regarding its ageing population, while maintaining a good living and working environment. Industry 4.0 merits attention as its implementation would ensure a significantly better success story for Estonia.

The main keywords used in the paper are: Industry 4.0, horizontal integration, vertical integration, smart factory, whole-chain design.

RETSENSENDI ARVAMUS/RETSENSIOON

TÜ majandusteaduskonna üliõpilase magistritöö

„.....” kohta.

1. Töö eesmärk ja ülesehitus (loogilisus, otstarbekus, uurimiseesmärgi piiritlemine ja täitmine)

.....

2. Teoreetiline käsitus (käsitletud probleemide ulatus, kaasaegsus, terminoloogia)

.....

3. Empiiriline osa (arvandmete kasutamine: piisavus, tõlgendamine, seostatus uurimiseesmärgiga)

.....

4. Kirjanduse kasutamine (piisavus, teemaga seostatus, uudsus)

.....

5. Vormistamise kvaliteet

.....

6. Küsimused ja märkused

.....

7. Üldhinnang tööle

.....

8. Konkreetne hinne

Retsensent

(nimi ja allkiri)

Kuupäev:

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Andres Tamm 02.02.79

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
„Soovitusliku tööstus 4.0 teekaardi loomine Eesti Mehhatroonika- ja masinatööstuse ettevõtetele“, mille juhendajad on Urmas Varblane ja Jüri Riives,
 - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus 25.05.17